

Metod för beslutsstöd vid formulering och uppföljning av en kommuns klimatmål – fallstudie Uppsala kommun

*Method for decision support in the formulation and
monitoring of a municipality's climate goals
– case study of Uppsala municipality*

Erik Lantto

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för energi och teknik

Erik Lantto

Metod för beslutsstöd vid formulering och uppföljning av en kommuns klimatmål – fallstudie Uppsala kommun

Method for decision support in the formulation and monitoring of a municipality's climate goals – case study of Uppsala municipality

Handledare: Björn Sigurdson, Uppsala kommun

Ämnesgranskare: Cecilia Sundberg, institutionen för energi och teknik, SLU

Examinator: Tord Johansson, institutionen för energi och teknik, SLU

EX0269, Examensarbete 30 hp, Avancerad nivå, A2E, teknik

Civilingenjörsprogrammet i energisystem 270 hp

Serienamn: Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)

ISSN 1654-9392

2014:02

Uppsala 2014

Nyckelord: modellering av energisystem, beslutsunderlag, klimatpåverkan, koldioxidekvivalenter

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Abstract

The purpose of this study is to create a method that can be used to produce decision-support data for the climate goals of a municipality. The method should be able to demonstrate the potential for reducing energy use and greenhouse gas emissions for measures aimed at the stationary energy system in the municipality. It will be used to make long-term projections of energy use and greenhouse gas emissions in order to be able to demonstrate the ability to reach climate goals.

The aim was also to test the method's applicability by using the municipality of Uppsala and the Uppsala climate protocol project in a case study. Uppsala climate protocol is a project consisting of participants from business, government and organizations that voluntarily want to commit to reducing their carbon footprint by reducing their energy use and thus work to achieve the municipality's overall climate goal.

Public reporting of energy use and climate impact has been studied in order to examine the nature of indicators and accounting figures that are commonly used in the field and how long-term forecasts are formulated. In connection to this, the type and sources for the kind of data needed was also examined. Tools that can be used as means for performing forecasts of energy systems development has been studied and evaluated. In the developed method the municipality's geographical limit act as an overall system limit. The climate impact of the studied systems originates from fossil fuel combustion in the stationary energy system within the municipal boundaries, with the exception of electricity produced outside the municipality.

At the case study of the municipality of Uppsala and the Uppsala climate protocol, most of the input data required for a baseline inventory and formulation of scenarios was retrieved from the Swedish Energy Agency, the Swedish Central Bureau of statistics and Vattenfall Heat Uppsala. Energy use and climate change forecasts was made using the simulation tool LEAP (Long -range Energy Alternatives Planning System). Two scenarios were modeled; a reference scenario describing the energy system's long-term development if no further measures is taken in addition to those already decided and an actor scenario describing an alternative development of the energy system based on additional measures to reduce climate impact. Results were reported for a base year, 2020 and 2030.

For 2020 the results showed that greenhouse gas emissions from the stationary energy systems becomes 1.7 tonnes CO₂-e per capita in the actor scenario, compared with 2.4 tonnes of CO₂-e per capita in the reference scenario. The overall climate goal of the municipality of Uppsala and Uppsala climate protocol is that total emissions should not exceed 4.8 tonnes CO₂-e per capita by 2020.

The case study shows how the method can be used to make projections of energy use and climate impact from the stationary energy system within a municipality. It also shows how the method can be used to compare measures for achieving climate goals.

Sammanfattning

Enligt FN:s klimatpanel IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) är det högst troligt utsläpp av växthusgaser till följd av mänsklig aktivitet som ligger bakom ökningen av den globala medeltemperaturen som pågått sedan industrialiseringen. En betydande del av växthusgasutsläppen kan tillskrivas människans förbränning av fossila bränslen. Om inga åtgärder vidtas utöver redan beslutade kommer växthusgasutsläpp på grund av energianvändning att öka med mellan 40 och 110 % och de globala växthusgasutsläppen att öka med 25-90 % fram till år 2030 jämfört med år 2000.

Klimatarbete bedrivs på flera olika nivåer, internationellt såväl som lokalt. Sveriges kommuner har bland annat till uppgift att genomföra Sveriges nationella klimatstrategi. Kommuner kan även driva klimatprojekt som sträcker sig utöver de nationella åtagandena. Uppsala kommun startade 2010 projektet Uppsala klimatprotokoll, ett samarbete mellan företag, myndigheter och organisationer som frivilligt vill satsa på att minska sin klimatpåverkan genom att minska sin energianvändning och därmed arbeta för att uppnå kommunens övergripande klimatmål.

Klimatarbete innebär långsiktiga mål och åtaganden. Olika klimatåtgärders effekter måste kunna beräknas och jämföras och resultaten ska kunna förmedlas till beslutsfattare på ett begripligt sätt. Syftet med examensarbetet är att skapa en metod som ska kunna användas för att ta fram underlag till beslutsfattare för klimatarbete inom en kommun. Metoden ska kunna visa potentialen för minskad energianvändning och minskade växthusgasutsläpp för åtgärder inom det stationära energisystemet. Den ska kunna användas för att göra långsiktiga prognoser över energianvändning och växthusgasutsläpp för att därigenom kunna visa möjligheten att nå uppsatta klimatmål. Arbetet med metoden har utgått från följande frågeställningar:

- Vilken information behövs för att kunna arbeta med klimatmål för en kommun?
- Vilka verktyg finns tillgängliga för energisystemanalys?
- Hur utförs en nulägesbeskrivning av en kommuns stationära energisystem?
- Hur utförs långsiktiga prognoser för en kommuns stationära energisystem?

Syftet har också varit att testa metodens tillämplighet genom att använda Uppsala kommun och Uppsala klimatprotokoll i en fallstudie.

Offentlig redovisning av energianvändning och klimatpåverkan har studerats för att undersöka vilken typ av indikatorer och redovisningstal som vanligen används inom området samt hur långsiktiga prognoser utformas. I samband med detta undersöktes även vilken typ av data som krävs och var sådan data kan hämtas. Verktyg som kan användas som hjälpmedel för att utföra prognoser över energisystems utveckling har studerats och utvärderats. I den framtagna metoden sätts kommunens geografiska gräns som övergripande systemgräns. Med undantag för el producerad utanför kommunen är det växthusgasutsläpp från

förbränning av fossila bränslen i det stationära energisystemet inom kommungränsen som studerats. Metoden innehåller följande huvudmoment:

- Nulägesanalys: Formulering av ett basår som beskriver nuvarande energianvändning och utsläpp av växthusgaser.
- Formulering av scenarier: Ett referensscenario som beskriver energisystemets långsiktiga utveckling om inga åtgärder utöver redan beslutade sätts in samt ett aktörsscenario som beskriver en alternativ utveckling med ytterligare åtgärder för att minska energianvändningen.
- Simulering av scenarierna i verktyget LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning System).
- Presentation av resultat: Tabeller och diagram tas fram som visar slutanvändning av energi och klimatpåverkan inom kommunen uppdelat på antal invånare, årtal, sektorer och scenarier.

Vid fallstudien av Uppsala kommun och Uppsala klimatprotokoll hämtas den mesta av indatan till nulägesanalys och formulering av scenarier från Energimyndigheten, Statistiska Centralbyrån och Vattenfall Värme Uppsala. Energianvändning och klimatpåverkan i ett referens- och ett aktörsscenario simuleras i LEAP. Resultat redovisas för ett basår, 2020 och 2030.

För år 2020 visar resultaten bland annat att utsläpp av växthusgaser från det stationära energisystemet blir 1,7 ton CO₂-e per invånare i aktörsscenariot jämfört med 2,4 ton CO₂-e per invånare i referensscenariot. Målet för Uppsala kommun och Uppsala klimatprotokoll är att de totala utsläppen 2020 inte ska överstiga 4,8 ton CO₂-e per invånare.

Fallstudien visar hur metoden kan användas för att göra prognoser över energianvändning och klimatpåverkan från det stationära energisystemet inom en kommun. Den visar även hur metoden kan användas för att jämföra åtgärder för att nå uppsatta klimatmål.

Förord

Detta examensarbete är utfört inom civilingenjörsprogrammet i energisystem vid Uppsala universitet och Sveriges Lantbruksuniversitet. Uppsala kommun är beställare och projektägare.Handledare har varit Björn Sigurdson, klimatstrateg Uppsala kommun. Ämnesgranskare har varit Cecilia Sundberg, institutionen för energi och teknik, SLU. Stöd i arbetet har också getts av Vincent Otto och Mårten Bergman vid Vattenfall forskning och utveckling.

Uppsala, januari 2014

Erik Lantto

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	2
1.3	Frågeställningar	3
1.3.1	Klimatmål.....	3
1.3.2	Systemanalytiska verktyg	3
1.3.3	Nulägesbeskrivning av energisystem	3
1.3.4	Långsiktiga prognoser av energisystem	3
1.4	Metod.....	3
1.4.1	Arbetsgång.....	3
1.4.2	Avgränsningar	4
2	Framtagning av metod	5
2.1	Nödvändigt beslutsunderlag	5
2.1.1	Scenarier	5
2.1.2	Nyckeltal och indikatorer	7
2.1.3	Energi- och klimatpolitiska styrmedel	9
2.1.4	Kommunicerbarhet	9
2.2	Systemanalys	11
2.3	Verktyg/hjälpmiddel för energisystemanalys	11
2.4	Verktyg för energisystemanalys.....	13
2.4.1	LEAP	13
2.4.2	MARKAL.....	13
2.4.3	MARTES	14
2.4.4	MODEST	14
2.4.5	REAM.....	15
2.4.6	Excelbaserade beräkningar	15
2.4.7	STURE	15
2.4.8	Utvärdering av verktyg för energisystemanalys.....	16
2.5	Sammanställning och beskrivning av metoden steg för steg	18
3	Implementering av metod – En fallstudie av Uppsala kommun och Uppsala klimatprotokoll	20
3.1	Beskrivning av studieobjekt	20
3.1.1	Uppsala kommun	20
3.1.2	Uppsala klimatprotokoll	20
3.2	Energianvändning.....	21
3.2.1	Normalårskorrigerig	21
3.2.2	Utsläpp av växthusgaser	23
3.2.3	Övergripande energistatistik.....	24
3.2.4	Sektorspecifik energianvändning.....	27
3.2.5	Storskalig energiomvandling/energidistribution	31
3.3	Referensscenario.....	33
3.3.1	Slutanvändning av energi.....	33

3.3.2	Storskalig energiomvandling/energidistribution	37
3.4	Aktörsscenario	39
3.4.1	Åtgärder.....	39
3.4.2	Vattenfall värme.....	40
3.5	Resultat av simuleringar i LEAP	41
3.5.1	Energianvändning.....	41
3.5.2	Klimatpåverkan.....	45
4	Diskussion	47
5	Slutsats	49
6	Referenser	50

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Problemet med den globala uppvärmningen blir allt mer akut. Huvuddelen av växthusgaserna kommer från förbränning av fossila bränslen, jordbruk och avfallsdeponier. Globalt förväntas fossila bränslen dominera som energikälla fram till 2030 och även därefter. Under den perioden antas därför även utsläpp från energianvändning öka med mellan 40 och 110 procent. Enligt FN:s ramkonvention om klimatförändringar UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) kommer de globala växthusgasutsläppen att öka med 25-90% fram till år 2030 jämfört med år 2000 om inga ytterligare åtgärder utöver redan beslutade sätts in. Detta sätter press på utvecklingen mot effektivare energianvändning och omställningen till hållbara energisystem med mer förnyelsebar energiproduktion.

EU:s klimatpolitik baseras på IPCC:s (Intergovernmental Panel on Climate Change) bedömning att det föreligger risk för en farlig klimatförändring om den globala medeltemperaturen ökar mer än max 2°C jämfört med förindustriell nivå (EG Science, 2008). Regioner i sårbara områden som Afrika, Asien och små östater i Stilla havet och Karibiska havet påverkas redan allvarligt. Vid en temperaturökning på mellan 1 och 2°C är det sannolikt att vi kommer att uppleva en betydande global påverkan på ekosystem och vattenresurser. Om temperaturen ökar med mellan 2 och 2,5 °C finns det risk för en negativ nettopåverkan på den globala livsmedelsproduktionen. Enligt IPCC AR4 (Fourth Assessment Report) krävs det att de globala växthusgasutsläppen når sin topp senast 2020 för att sedan halveras 2050 relativt 1990-års nivå och därefter gå mot noll vid slutet av århundradet (IPCC, 2007).

Internationella klimatförhandlingar är komplexa och tidskrävande processer med många inblandade aktörer som visar på svårigheter att nå bindande internationella överkommelser om minskade växthusgasutsläpp. Svenskt klimatarbete bedrivs på såväl internationell, europeisk, regional som lokal nivå.

Sveriges kommuner har goda förutsättningar att styra utvecklingen av de lokala energisystemen i rätt riktning. Dels på grund av rollen som myndighetsutövare, dels för att den kommunala organisationen ofta är en stor energikonsument. Men kommunerna kan också påverka genom planering, information och samordning. Uppsala kommun är sedan våren 2010 initiativtagare och projektledare för Uppsala klimatprotokoll, ett samarbete mellan av Uppsala kommun utvalda företag, myndigheter och organisationer som vill minska sin klimatpåverkan genom att minska energianvändningen (Uppsala kommun, 2010a). Deltagarna i klimatprotokollet åtar sig bland annat att arbeta för att uppnå kommunens övergripande klimatmål om att till 2020 minska utsläppen av växthusgaser per invånare med 45% jämfört med 1990-års nivå samt att genomföra och redovisa klimatåtgärder för den egna verksamheten (Uppsala kommun, 2012a). För att kunna bedöma om klimatmålen kan nås måste åtgärdernas effekter kunna beräknas. Det kräver att det finns ett referenssystem att jämföra mot. Målet med examensarbetet är att ta fram en metod för hur sådana beräkningar kan göras för en kommun. Resultaten ska kunna användas som beslutsstöd i en kommuns klimatarbete.

1.2 Syfte

Det övergripande syftet med detta examensarbete är att ta fram en metod för att beräkna aktuell och framtida klimatpåverkan från en kommuns energisystem. Metoden ska ha ett systemperspektiv och kunna användas för att ta fram beslutsunderlag till nödvändiga klimatmål för en kommun. Den ska ge information om hur mycket det går att minska växthusgasutsläppen med genom olika åtgärder och därigenom kunna svara på om det går att nå gällande klimatmål samt om målen behöver revideras. Uppsala kommun och Uppsala klimatprotokoll ska användas som studieobjekt för energisystem respektive åtgärdsprogram i en fallstudie där metoden implementeras.

1.3 Frågeställningar

I detta kapitel beskrivs vilka frågeställningar som examensarbetet har för avsikt att besvara.

1.3.1 Klimatmål

- Vilken information behövs för att kunna arbeta med klimatmål för en kommun?
- Hur kommuniceras informationen till beslutsfattare?

1.3.2 Systemanalytiska verktyg

- Vilka verktyg finns tillgängliga för energisystemanalys och hur väl lämpar de sig för analys av en kommuns energisystem?

1.3.3 Nulägesbeskrivning av energisystem

- Hur bestäms nuvarande klimatpåverkan från ett energisystem?

1.3.4 Långsiktiga prognoser av energisystem

- Vilka energi- och klimatpolitiska mål och styrmedel påverkar energisystemets utveckling?
- Vilka övriga variabler påverkar energisystemets utveckling?
- Hur beräknas och tolkas effekten av åtgärder för reducerade växthusgasutsläpp?

1.4 Metod

1.4.1 Arbetsgång

Arbetet har inledningsvis bestått av intervjuer med personer insatta i ämnet. Därefter har informationsinhämtning och analys skett i två till stor del separata faser. Först har litteraturstudier av metodik och verktyg för energisystemanalys utförts med utgångspunkt i de inledande intervjuerna. Det mynnade ut i ett generellt angreppssätt för långsiktig energisystemanalys för kommuner. I nästa steg användes resultatet från föregående fas för att hämta information om Uppsala kommuns energisystem som används som fallstudie.

I fallstudien utfördes beräkningar för Uppsala kommuns energisystem med avseende på energianvändning och klimatpåverkan. Indata till beräkningarna har

främst hämtats från Energimyndigheten, Statistiska Centralbyrån (SCB) och Vattenfall Värme Uppsala.

1.4.2 Avgränsningar

Den kommunala geografiska gränsen utgör övergripande systemgräns för det energisystem som studeras. Endast den energianvändning som sker inom denna gräns ingår i arbetet. Endast det stationära energisystemet studeras. Den klimatpåverkan som tillskrivs kommunen är sådan, med undantag av el, som uppstår vid förbränning av fossila bränslen inom systemgränsen. Icke energirelaterade utsläpp ingår inte. För el används utsläppsdata för nordisk elmix. Ingen analys görs av energisystemets övriga miljömässiga eller sociala belastningar på omgivningen. Övriga avgränsningar anges i de kapitel i rapporten där de förekommer.

2 Framtagning av metod

2.1 Nödvändigt beslutsunderlag

Klimatmål har vanligtvis en lång tidshorisont. EU:s nuvarande klimatmål är satt till år 2020 (Miljödepartementet, 2009) och arbete bedrivs för att komma överens om en långsiktig klimatstrategi efter 2020 som ska gälla fram till 2050 (Miljödepartementet, 2012). Sveriges klimatmål, miljö kvalitetsmålet ”begränsad klimatpåverkan”, är baserat på klimatkonventionens mål och satt till år 2020 och därefter formulerat som en vision för tiden fram till 2050 (Naturvårdsverket, 2012). I regeringspropositionen *En sammanhållen klimat- och energipolitik – Klimat* står det att:

”Länsstyrelser och kommuner är tillsammans med de regionala självstyrelseorgan och samverkansorgan som etablerats i delar av landet viktiga aktörer i arbetet med att genomföra den nationella klimatstrategin.” (Miljödepartementet, 2012)

Det är alltså tydligt att det finns ett behov av att kunna studera långsiktiga effekter av klimatarbeten på lokal nivå. För att beslutsfattare ska kunna utvärdera olika klimatåtgärder krävs också ett enhetligt sätt att mäta effekterna på.

2.1.1 Scenarier

Enligt Europeiska Kommissionen (2010) har lokala myndigheter en nyckelroll i arbetet med att nå EU:s energi- och klimatmål. EU anser att det är relevant att på lokal nivå upprätta scenarier för hur koldioxidutsläppen utvecklas under gällande policys och påverkas av planerade åtgärder.

I Förordning (2005:626) om klimatrapporering slås det fast att Energimyndigheten ska genomföra prognoser för energisektorn enligt Europaparlamentets och

rådets beslut nr 280/2004/EG om en mekanism för övervakning av utsläpp av växthusgaser inom gemenskapen. I Energimyndighetens rapport *Långsiktsprogno 2010*, som ligger till grund för Naturvårdsverkets rapportering till Europeiska kommissionen, används tre olika scenarier för att beskriva det Svenska energisystemets utveckling fram till 2030 (Energimyndigheten, 2011a).

I rapporten *Ekonomi, energi och miljö – metoder att analysera samband* från Totalförsvarets Forskningsinstitut (FOI) finns en kartläggning av systemanalytiska verktyg för bland annat energi och energiekonomisk modellering där följande beskrivning av scenarier används:

”Scenarier görs för att skapa en beredskap för möjliga utvecklingar, för att illustrera hur utfallet av ett visst beslut beror på hur omvärlden utvecklas, eller för att illustrera utvecklingar som beslutsfattare kan välja.” (FOI, 2003)

Nuläge

När ett scenario konstrueras behövs det startvärden för att veta det initiala tillståndet för systemet. Europeiska Kommissionen (2010) kallar ett sådant nuläge för ”baseline”. ”Baseline year” kallas det år mot vilket framtida utsläppsminskningar ska jämföras. Energimyndigheten och FOI använder benämningen basår vilket har anammats i det här examensarbetet (Energimyndigheten, 2011a; FOI, 2003).

Referensscenario

När ett basår har bestämts kan ett scenario formuleras enligt den mest troliga utvecklingen givet gällande riktlinjer och styrmedel inom energi- och klimatområdet. European Environment Agency (EEA) använder definitionen ”baseline scenarios” och ”reference” för scenarier som beskriver en framtida utveckling för samhälle och miljö där inga nya policys inom miljöområdet utöver idag redan beslutade väntas träda i kraft (EEA, 2012).

I en rapport från avdelningen för Industriell Ekologi på KTH används begreppet referensscenario för att beskriva en utveckling enligt ”business as usual” för växthusgasutsläpp inom Stockholm stad fram till 2015 (Fahlgren, Johansson & Brandt 2007).

”Business as usual” brukar användas i kontrast till ett specifikt projekt eller program som syftar till att införa förändring. På samma sätt kommer begreppet referensscenario att användas i examensarbetet för att beskriva mest trolig utveckling utan att några nya initiativ för minskad klimatpåverkan tas.

Aktörsscenario

Klimatarbeten har ofta flera inblandade aktörer från olika delar av samhället. I examensarbetet används termen för att beskriva ett scenario där minst en åtgärd för minskad klimatpåverkan genomförs som inte finns med i referensscenariot. Ett aktörsscenario kan även innehålla flera åtgärder från en och samma aktör eller åtgärder från olika aktörer. Gemensamt för dem är att effekterna av åtgärderna hela tiden mäts relativt referensscenariot.

2.1.2 Nyckeltal och indikatorer

Indikatorer används vid utvärdering av energi- och klimatmål och som jämförelse med nationella värden samt jämförelse mellan andra kommuner och sektorer.

Det är Naturvårdsverket som är ansvariga för officiell statistik om utsläpp. Bland kravställarna och mottagarna finns regeringen och riksdagen, EU:s övervakningsmekanism för koldioxid och andra växthusgaser och FN:s klimatkonvention (Naturvårdsverket, 2011). Enligt Naturvårdsverket (2012) ska indikatorer:

- Följa upp resultatet av miljömålsarbetet
- Visa om miljöarbetet går i rätt riktning och i rätt takt
- Visa hur miljön mår
- Ge underlag för åtgärder och beslut

Det finns elva indikatorer som följer upp miljö kvalitetsmålet ”begränsad klimatpåverkan”: ”Antal isdygn”, ”Energianvändning”, ”Fjällrävsföryngringar”, ”Hushållsavfall”, ”Klimat och häckande fåglar”, ”Klimatpåverkande utsläpp”, ”Kollektivtrafik – omfattning”, ”Körsträcka med bil”, ”Nationella utsläpp av CFC”, ”Resor med kollektivtrafik” och ”Vindkraftsel” (Naturvårdsverket, 2012). Inom ramen för detta examensarbete är det ”energianvändning” och ”klimatpåverkande utsläpp” som är relevanta.

Sveriges Kommuner och Landsting (SKL) har i ett projekt tagit fram miljöindikatorer på kommunal nivå. Av ett 70-tal indikatorer prioriterade projektet 20 stycken vilka ”bedömdes ha ett stort lokalt intresse för de flesta kommuner, visa på flera viktiga miljöfrågor samt vara lätta att kommunicera” (SKL, 2007). Gruppen ”Energi och koldioxid” anses relevant för examensarbetet.

Energi och klimat, övergripande

Miljömålsportalen presenterar indikatorn energianvändning i antal MWh per individ och år (Naturvårdsverket, 2012). De data som används till indikatorn, statistik-

produkten *Kommunal och regional energistatistik*, är framtagen av SCB. Indikatorn avser slutanvändning av energi inom sex samhällssektorer:

- Jordbruk, skogsbruk och fiske
- Offentlig verksamhet
- Övriga tjänster
- Hushåll
- Transporter
- Industri och byggverksamhet

Energi till omvandlings- och överföringsförluster och energisektorns interna elanvändning omfattas inte av indikatorn. Statistiken från SCB är inte officiell. Det är en omarbetning av underlag till officiell statistik huvudsakligen avsedd för riksnivå som bryts ned till regional och kommunal nivå. Naturvårdsverket använder den trots detta på *Miljömålsportalen* för att presentera indikatorer då den möjliggör jämförelse mellan energianvändning per invånare regionalt kontra nationellt.

SKL:s miljöindikatorer inom ”Energi och koldioxid” är:

- Energianvändning per invånare och sektor (huvudindikator)
- Koldioxid i utsläpp per invånare och sektor (huvudindikator)
- Förnybar energi, andel per sektor
- Fjärrvärme: andel anslutna, andel förnybart
- Energianvändning i småhus, kWh och slag (SKL, 2007)

I miljömålsportalen presenteras klimatpåverkande utsläpp i kton koldioxidekvivalenter (CO₂-e) per år uppdelat på sektorerna (Naturvårdsverket, 2012):

- Energiförsörjning
- Industriprocesser och lösningsmedelsanvändning
- Transporter och arbetsmaskiner
- Jordbruk
- Avfall och avlopp

Även kg CO₂-e per invånare, år och län presenteras i miljömålsportalen.

Åtgärder

Europeiska Kommissionen (2010) rekommenderar att följande punkter specificeras för varje åtgärd:

- Beskrivning

- Ansvarig avdelning, person eller företag
- Genomförandetid (start-klart, milstolpar)
- Kostnadsuppskattning
- Uppskattad energibesparing/ökat förnybart
- Energiproduktion
- Uppskattad CO₂-besparing

Miljövärdering av elproduktion

I *Klimatkommunernas Lathund för inventering* finns en metod för miljövärdering av el där koldioxid för den lokala elproduktionen fördelas på totala koldioxidutsläpp för olika användningsområden (Klimatkommunerna, 2011). Finns kraftvärmeproduktion inom kommunen särskiljs elens miljöpåverkan från fjärrvärmens genom insatt energi till omvandling fördelas mellan de två produkterna. Information om levererad el inom kommunen, fördelat på sektorer, fås från elnätsägare inom kommunen. När lokal elproduktion subtraheras från den totala elanvändningen erhålls ”nettoimporten” av el till kommunen. För nettoimporten används koldioxidvärde för svensk eller nordisk elmix (i examensarbetet används nordisk elmix). När den sammanlagda koldioxidbelastningen från både lokal elproduktion och nettoimport av el delas med den totala elanvändningen fås ett värde för koldioxidutsläpp per enhet el inom kommunen.

2.1.3 Energi- och klimatpolitiska styrmedel

Energimyndigheten (2011a) baserar huvudscenariot på beslutade skattesatser och styrmedel fram till halvårsskiftet 2010. Även merparten av de styrmedelsförändringar som föreslås i propositionerna 2008/09:162, 2008/09:163 och 2009/10:41 som antas gälla från 2011, 2013 och 2015 inkluderas.). För att kunna ta hänsyn till gällande och beslutade nationella styrmedel vid konstruktionen av ett referensscenario, kan data från Energimyndighetens huvudscenario användas.

2.1.4 Kommunicerbarhet

Beslutsfattare har inte alltid tid nog eller tillräcklig kunskap för att kunna tolka komplexa resultat och stora datamängder. Därför är det viktigt med att kunna förmedla information på ett begripligt sätt.

Europeiska Kommissionen (2010) anser att dokument som presenteras för myndigheter bör vara korta, övergripiga och lätta att förstå. För att öka intresset hos allmänheten rekommenderas användandet av visualiseringsverktyg.

Resultat i diagramform

Klimatkommunerna (2011) har exempel på diagram för en överskådlig och lättförståelig bild av energianvändning och utsläpp av koldioxid inom kommunen. Informationen i diagrammen ska kunna användas för att prioritera klimatåtgärder. Diagrammen avser resultat för löpande växthusgasinventering:

- Stapeldiagram: energianvändning i kommunen i GWh uppdelat på energibärare
- Stapeldiagram: koldioxid från fossila bränslen i kton uppdelat på sektorer (jordbruk, skogsbruk och fiske, industri, energi, offentlig sektor, hushåll, service, transporter)
- Stapeldiagram: elnätstatistik i GWh el uppdelat på sektorer (jordbruk, skogsbruk och fiske, industri, energi, offentlig sektor, hushåll, service, transporter)
- Cirkeldiagram: producerad mängd förnybar energi i MWh uppdelat på teknologi (i exemplet jord/bergvärme, solfångare, vindkraft och vattenkraft)
- Cirkeldiagram: energianvändning i småhus i GWh uppdelat på energibärare (i exemplet oljeanvändning, bio, fjärrvärme och elanvändning)

Klimatkommunerna har valt att enbart redovisa klimatpåverkan i form av koldioxidutsläpp men tillägger dock att kommuner som kommit längre i sitt klimatarbete kan ha intresse av att även inkludera övriga växthusgaser.

Naturvårdsverket (2012) presenterar indikatorn energianvändning per invånare, år och sektor (jordbruk, skogsbruk och fiske, offentlig verksamhet och övriga tjänster, hushåll, transporter, industri och byggverksamhet) i stapeldiagram med flera år i samma diagram. Även indikatorn klimatpåverkande utsläpp presenteras på liknande sätt i stapeldiagram med kton CO₂-e per sektor (energiförsörjning, industriprocesser och lösningsmedel, transporter och arbetsmaskiner, jordbruk och avfall och avlopp) och år för flera år samtidigt.

2.2 Systemanalys

Ett energisystem är ett sociotekniskt system som utgörs av anläggningar, aktörer och institutionella regelverk (Energimyndigheten, 2006). Anläggningarna förknippas med användning, distribution och omvandling av energi. Olika aktörer och organisationer driver, nyttjar och påverkar systemets utformning. Institutionella regelverk som lagar och ekonomiska styrmedel skapar villkoren för systemets sätt att fungera. Inom denna sömlösa väv av sociala och tekniska system finns olika konstellationer av aktörer, alla med sina egna intressen, kompetenser och resurser. Det är viktigt att förstå att en viss teknik kan te sig väldigt annorlunda vad gäller kostnader, utbyggnadspotential och miljöpåverkan beroende på vems perspektiv den betraktas från. Ett systemperspektiv bör användas för att undvika att ekonomiska och miljömässiga vinster som tillgodoräknas en del av systemet ersätts av förluster i en annan del. Energisystemanalys ökar förståelsen för komplexa system och dess påverkan från tekniska, ekonomiska och andra faktorer. Det systemanalytiska angreppssättet gör att det går att hitta effektivare former för utnyttjandet av resurser ur ett helhetsperspektiv. Resultaten kan användas som beslutsunderlag för företag, myndigheter och organisationer.

2.3 Verktyg/hjälpmedel för energisystemanalys

Det vanligaste verktyget för analys av energisystem är datorbaserade modeller. Modeller kan användas för att skaffa förståelse om ett systems nuvarande situation men även för att göra prognoser om systemets framtida utveckling. Att använda modeller som metod för prognoser är dock förknippat med en hel del risker. Modeller är datorprogram med algoritmer konstruerade för att imitera systemets verkliga beteende. Ingen modell, oavsett komplexitet, kan förutsäga alla möjliga framtida händelser som kan tänkas påverka det verkliga systemet. Med medvetenhet om detta kan dock modeller användas för att analysera effekten av ett systems möjliga utvecklingsvägar, det vill säga olika scenarion, under vissa villkor. Ofta vill användaren studera hur ett system påverkas av olika förändringar. Det gör att modeller kan användas för att skapa bredare förståelse för ett systems beteende vilket kan användas som underlag för beslutsfattade.

Det finns modeller för energisystemanalys på såväl global, nationell, regional som kommunal nivå. Nordens största elmarknadstidning ERA har gjort en sammanställning över datorprogram för energibranschen i katalogen *Energi och IT* (ERA, 2006). ERA använder följande indelning av modelleringsverktyg:

- Elproduktion och fjärrvärmeproduktion
- Elnät
- Fjärrvärmenät
- Elhandel och energihandel
- Fjärravläsning, mätvärdeshantering, kundservice
- Industriers energisystem
- Fastigheters energisystem och byggnaders energibehov
- Energiplanering och energisystemanalys
- Övriga IT-system

En del modeller behandlar endast tillförselsidan med storskalig energiomvandling, vissa är skapade för analys av infrastruktur för el eller fjärrvärme och andra fokuserar på efterfrågan och slutanvändning. Generellt sett beskrivs systemen med tekniska komponenter och flöden där användaren får specificera tekniska egenskaper som kapacitet, verkningsgrad, emissioner och diverse systemkopplingar. Olika energibärare utgör kopplingen mellan omvandling och användning av energi. Somliga modeller hanterar även ekonomiska värden som olika kostnader, avgifter och skatter. Det finns även varianter som hanterar både tillgång, efterfrågan och kostnader. De allra flesta hanterar även emissioner.

Energisystemmodeller används vanligen för att göra lönsamhetsbedömningar av investeringar, hitta intressanta områden för satsningar på teknikutveckling, för driftplanering, optimering och bedömning av miljöpåverkan.

Det finns simulerande modeller som används för att studera hur ett energisystem förändras över tid, givet ett antal parametrar och initialvillkor. Vissa modeller som använder linjärprogrammering är även optimerande. Det betyder att användaren kan välja att maximera eller minimera en målfunktion utifrån en uppsättning bivillkor. Målfunktionen kan exempelvis vara en kostnad, ett bränsle eller utsläpp av ett visst ämne. Modeller som endast bygger på linjärprogrammering hanterar däremot inte heltalsbegränsningar och logiska operationer som ”antigen eller” men det finns varianter som använder blandad heltalsprogrammering som klarar detta. Vidare skiljer man på stokastiska och deterministiska modeller. Stokastiska modeller klarar av att simulera slumpmässiga variationer i systemet för att efterlikna de osäkerheter som verkligheten består av. I en deterministisk modell fås alltid samma resultat för en bestämd uppsättning startvärden.

En del modeller är statiska och andra dynamiska. Statiska modeller har ingen inre dynamik och deras egenskaper förändras därför inte över tid. Tillståndet i en

viss tidpunkt beror enbart på de förutsättningar som råder precis då. I ett dynamiskt system beror dess tillstånd alltid på all tidigare påverkan fram till dess.

Ett alternativ till färdiga energisystemmodeller är att utföra beräkningarna direkt i ett kalkylprogram som Microsoft Excel. En fördel med detta angreppssätt är att användaren inte låser fast sig i en strikt programstruktur.

2.4 Verktyg för energisystemanalys

Nedan beskrivs några verktyg för energisystemanalys bedöms vara intressanta för detta arbete. Därefter följer en matris för utvärdering av mest lämpligt verktyg för långsiktig (upp till 20 år fram i tiden) analys av en kommuns energisystem.

2.4.1 LEAP

Long-range Energy Alternatives Planning System (LEAP) är utvecklat av SEI Stockholm Environment Institute (SEI). Det är ett verktyg som kan används för att studera energisystem på flera olika nivåer som lokalt, regionalt, nationellt och globalt (Heaps, 2008). Oftast vill användaren analysera effekten av olika energipolitiska beslut och åtgärder. Energianvändning, konsumtion, produktion och resursutvinning i alla delar av en ekonomi kan spåras. Både tillförsel och efterfrågan hanteras. Verktuget har en scenariefunktion i vilken användaren kan skapa och utvärdera flera olika scenarier genom att jämföra deras energibehov, kostnad och miljöpåverkan. LEAP används för studier på medellång till lång sikt. Prognosperioden är vanligtvis mellan 20 och 30 år. Beräkningar görs vanligen för ett år i taget. Det är möjligt att dela upp ett år i användardefinierade delintervall som exempelvis årstider eller natt och dag. Vanligtvis inkluderar en studie både en historisk period, i vilken modellen körs för att testa sin förmåga att återskapa kända statistiska data, så väl som multipla framtida scenarier. LEAP används bland annat av myndigheter, akademiker och konsultföretag i över 150 länder. Fler än 85 länder använder LEAP som en del i deras åtagande att rapportera till UNFCCC.

2.4.2 MARKAL

MARKAL (Market Allocation) är en avancerad linjärprogrammeringsmodell för analys av energisystem på nationell, regional och lokal nivå (Seebregts, Goldstein & Smekens 2001). Den är från början utvecklad av IEA (International Energy Agency) och används idag av ett stort antal länder vilka vidareutvecklat egna varianter av modellen. Användaren matar in indata i form nutida och framtida tekniker för energieffektivisering och reducerade utsläpp av växthusgaser och deras tillhö-

rande tekniska egenskaper och kostnader. Modellen hanterar utsläppstak och optimerar genom att välja den kombination av tekniker som ger lägst total systemkostnad. Tidshorisonten kan göras så lång som 40 till 50 år. Tillgång och efterfrågan är integrerade så att förändringar i ena änden omedelbart ger svar i den andra. MARKAL används bland annat för att identifiera energisystemlösningar med lägsta kostnad, kostnadseffektiva åtgärder för att möta krav på utsläppsbegränsningar, utföra långsiktiga analyser av energibalanser under olika scenarier, utvärdera nya tekniker och prioriteringar för forskning och utveckling, utvärdera effekter av begränsningar, skatter och subventioner, projektioner av växthusgasutsläpp och uppskatta värdet av regionalt samarbete.

2.4.3 MARTES

Martes, en modell utvecklad av Profu (Projektinriktad forskning och utveckling), är det idag dominerande verktyget i Sverige för analys av fjärrvärmeproduktion (Profu, 2000). Förutom fjärrvärme hanterar modellen även energiformerna el och ånga. Programmet är tänkt att fungera som beslutsunderlag för investeringar i produktionstekniker, bränsleval, skatte- och miljöavgiftsanalys, budget, kontraktsförhandling, bränsleinköp, lagerhållning med mera. Användaren kan komplettera en basversion av MARTES med tilläggsmoduler för ackumulator, elproduktion i kondensdrift, lastberoende elkvot, relationsvillkor, budget, kombianläggning, minlastjustering, flersystem och scenarionanalys. Resultaten innehåller information om energi, utsläpp och ekonomi med en tidsmässig detaljeringsgrad bestämt av användaren.

2.4.4 MODEST

MODEST (Modell för Optimering av Dynamiska EnergiSystem med Tidsberoende komponenter och randvillkor) utvecklad vid Linköping universitet, är en dynamisk och optimerande modell som främst används för att studera el- och fjärrvärmesystem ur drift- och investeringssynpunkt (Eriksson, 2004). Tidsmässigt är den väldigt detaljerad och kan beskriva hundratals tidssteg. På det sättet möjliggör den simuleringar av effekttoppar och ryckiga variationer i last. Optimering sker mot lägsta systemkostnad. MODEST är uppbyggd av noder och flöden mellan dessa. Noderna kan definieras som bränslen, källor, last eller spillenergi. Till varje nod matas indata som energipriser, skatter, drifts- och investeringskostnader, verkningsgrad, maxeffekt och emissioner. Eftersom modellen bygger på linjärprogrammering går det att använda bivillkor som exempelvis maxutsläpp av ett visst ämne.

2.4.5 REAM

Ream (Regional Energy Analysing Model) är en modell utvecklad av Profu och används för analys av stationära energisystem på regional och lokal nivå (Profu & IFE, 2009). Modellen hanterar teknologier för lokal energiproduktion, infrastruktur för energidistribution, slutanvändning i olika sektorer och småskaliga teknologier för uppvärmning och energieffektivisering. Simuleringar görs för ett år i taget och det går att simulera för ett i princip obegränsat antal år förutsatt att användaren specificerat vilka förutsättningar i form av energibehov, teknikuppsättning och kostnader som råder för varje år. Modellen optimerar inte någon målfunktion men algoritmen som simuleringarna bygger på väljer för varje period de billigaste teknik- och bränslecombinationerna baserat på energipriser, skatter, avgifter, rörliga omkostnader och bränslepriser. Befintlig teknik i en viss sektor ersätts med ny om antingen livslängden för den befintliga går mot sitt slut eller om totalkostnaden för en ny teknik är lägre än den rörliga kostnaden för den befintliga. Användaren kan styra modellen genom bland annat kapacitetsbegränsningar i produktion, distribution och slutanvändning. Resultat redovisas som energianvändning, energitillförsel, emissioner och kostnader för producenter och konsumenter.

2.4.6 Excelbaserade beräkningar

Ett alternativ till färdiga modeller kan vara att utföra beräkningar i ett kalkylprogram. Vid arbetet med att ta fram ett referensscenario för växthusgasutsläpp i Stockholm använde sig Fahlberg¹ enbart av Microsoft Excel. Först gjordes inventarier av växthusgasutsläpp i Stockholms stad. Framskridningarna som sedan gjordes byggde på intervjuer med olika arbetsgrupper om antaganden om framtiden. Sammanställningar och beräkningar i gjordes Excel.

2.4.7 STURE

Sture är ett beräkningsverktyg för energianvändning i byggnader framtaget av Energimyndigheten, Svensk fjärrvärme och SBUF (Svenska byggbranschens utvecklingsfond). Verktöget används för att beräkna hur miljöpåverkan och kostnader förändras när energianvändningen och effektiviseringsgraden i byggnaden förändras. Värdena bygger på studier av verkliga byggnader där de åtgärder som finns tillgängliga i verktöget har utförts och utvärderats.

¹ Kristin Fahlberg, doktorand KTH, telefonsamtal den 25 maj 2010.

2.4.8 Utvärdering av verktyg för energisystemanalys

Utvärderingen har utförts med hjälp från Vincent Otto och Mårten Bergman från Vattenfall RnD. I tabell 1 visas en jämförelse av olika egenskaper för verktygen MARKAL, MARTES, MODEST, REAM och LEAP. Önskvärda egenskaper hos ett verktyg lämpat för att ta fram beslutsunderlag i klimatfrågor för en kommun anses vara att det hanterar:

- Lång tidshorisont för att klara av att beräkna effekter av åtgärder fram till 2030
- Geografisk dimension av en kommun
- Samtliga samhällssektorer

Dessutom är ”hanterbarhet” ett kriterium som inte är listat. Verktöget ska enligt Sigurdson² optimalt kunna hanteras av klimatstrateg eller person med motsvarande befattning inom kommunen. Detta kriterium gjorde att LEAP valdes då det ansågs vara det minst komplexa.

Förutom LEAP verkade MARKAL, REAM samt KTH:s Excel-baserade variant lämpliga då de hanterade energisystemet inom hela samhället och inte bara till exempel energidistribution. MARKAL ansågs dock för avancerad för att klara kriteriet ”hanterbarhet”. REAM verkar vara lätthanterlig men den version som undersöktes hanterade inte scenarier. Att bygga upp en Excel-baserad modell likt KTH:s hade troligen tagit längre tid jämfört med en färdig modell som LEAP.

Modeller som inte inkluderade energianvändningen i hela samhället hade kanske kunnat användas i fall det gjordes i kombination med andra verktyg. Exempelvis hade modeller för fjärrvärme- och elsystem kunnat kompletteras med beräkningar i Excel för övriga samhället. Denna variant ansågs dock för osäker vad gällde tidsåtgång.

² Björn Sigurdson, klimatstrateg Uppsala kommun, telefonsamtal den 18 november 2010.

Tabell 1. Verktyg för energisystemanalys

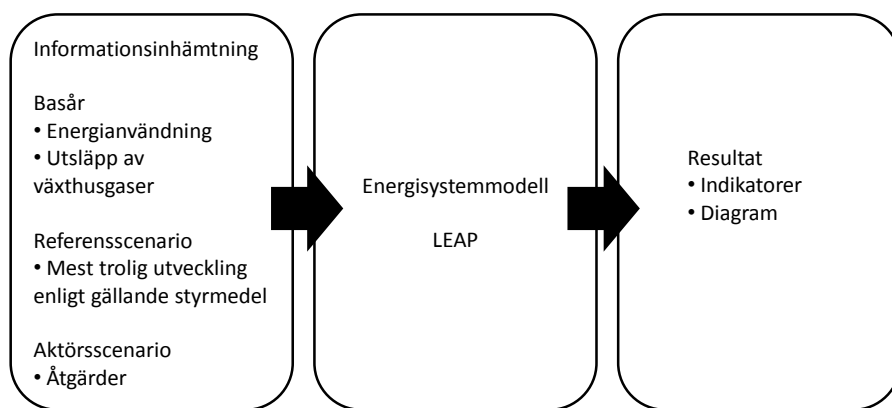
	MARKAL	MARTES	MODEST	REAM	KTH	STURE	LEAP
Utvecklat av	IEA	Profu	LiTH	Profu	KTH	Sv.Fjärrvärme m.fl.	SEI
Tidsupplösning	Dynamisk	Dynamisk	Dynamisk	Statisk	Statisk	Statisk	Statisk
Tidshorisont	Vanligtvis 40 till 50 år	Upp till 5 år	1 år	Obegränsat	8 år	1 år	Obegränsat
Geografisk dimension	Global, nationell, regional, lokal	Lokal	Regional, lokal	Regional, lokal	Regional	Lokal	Global, nationell, regional, lokal
Sektor	Hela samhället	Energi	Energi	Hela samhället	Hela samhället	Byggnad	Hela samhället
Metod	Simulering, optimering	Simulering, optimering	Simulering, optimering	Simulering	Framskridning	..	Simulering
Emissioner	Definieras av användaren	Definieras av användaren	Definieras av användaren	Definieras av användaren	Definieras av användaren	Definieras av användaren	Definieras av användaren
Energibärare							
Ekonomi	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej	Ja	Ja
Energi- effektivisering på användarsidan	Ja	Nej	Nej	Ja	Nej	Ja	Ja
Optimerande	Ja	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej	Ja

2.5 Sammanställning och beskrivning av metoden steg för steg

Här följer en beskrivning av metodens olika moment steg för steg. Ordningen för momenten är satt till att visa praktisk arbetsordning vid implementering av metoden.

1. Nulägesanalys: Information samlas in om nuvarande energianvändning och utsläpp av växthusgaser kopplade till denna. Beroende på för vilka år det finns tillgänglig data formuleras ett basår att utgå ifrån i det fortsatta arbetet.
2. Formulering av scenarier:
 - 2.1. Referensscenario: Utveckling av energianvändningen inom kommunen fram till 2030 baserat på mest trolig utveckling givet gällande och beslutade styrmedel och skattesatser.
 - 2.2. Aktörsscenario: Sammanställning av vilka åtgärder som är tänkta att genomföras fram till 2030 samt deras genomförandear, energibesparingspotential och kostnad.
3. Energisystemsmodellering i LEAP:
 - 3.1. Inmatning av indata för basår, referensscenario och aktörsscenario
 - 3.2. Simulering
 - 3.3. Export av resultat för basår samt referens- och aktörsscenario år 2020 och 2030.
4. Presentation av resultat:
 - 4.1. Energianvändning:
 - 4.1.1. Tabell med slutanvändning av energi per invånare, år, sektor och scenario
 - 4.1.2. Tabell med slutanvändning av energi per sektor, år och scenario
 - 4.1.3. Stapeldiagram med energianvändning i kommunen per år och energibärare
 - 4.1.4. Cirkeldiagram för energianvändning i småhus per år, scenario och energibärare
 - 4.2. Klimatpåverkan
 - 4.2.1. Tabell med CO₂-e per år, sektor och scenario
 - 4.2.2. Stapeldiagram med CO₂-e per år, sektor och scenario
 - 4.2.3. Tabell med CO₂-e per invånare och sektor och scenario

För att begränsa antalet presentationsobjekt bör så mycket information som möjligt presenteras i varje tabell och diagram. Därför kan man med fördel låta tabeller och diagram för energianvändning och klimatpåverkan innehålla resultat både för basår och för referens- och aktörsscenario år 2020 och 2030. Elnätstatistik per sektor som klimatkommunerna redovisar är för senaste inventeringen. Därför används en stapel för varje sektor i diagrammet. När flera år ska redovisas går det att använda en stapel för varje år fast uppdelad i sektorer på höjden. På så sätt kan elanvändning per sektor för flera år presenteras på ett och samma diagram. Samma tillvägagångssätt går att tillämpa på redovisningen av energianvändningen som klimatkommunerna redovisar med en stapel för varje bränsle.



Figur 1. Sekventiellt flödesschema som övergripande visar arbetsgången för att ta fram nödvändigt beslutsunderlag för åtgärder inom energianvändning och klimatpåverkan hos en kommun.

3 Implementering av metod – En fallstudie av Uppsala kommun och Uppsala klimatprotokoll

3.1 Beskrivning av studieobjekt

3.1.1 Uppsala kommun

Uppsala är Sveriges fjärde största kommun sett till befolkning. År 2011 passerade folkmängden 200 000 personer. Befolkningen beräknas uppgå till cirka 221 100 personer 2020 och 242 600 personer 2030 (Uppsala kommun, 2012b). Av kommunens cirka 95 000 bostäder 2010 utgjordes drygt 70 procent av bostäder i flerbostadshus och resterande 30 procent av småhus (Uppsala kommun, 2012c). Av strax under fyra miljoner kvadratmeter lokalyta 2008 tillhörde omkring 30 procent offentlig sektor, 40 procent privat sektor, 30 procent industrisektorn och mindre än en procent lantbruksfastigheter (SCB, 2008).

Vattenfall värme (2011a) har ett utbrett fjärrvärmenät i Uppsala tätort och producerar även el, fjärrkyla och ånga. Bionär (2012) har närvärmeanläggningar i Vänge, Bälinge och Björklinge. Det finns två elnätsägare i kommunen: Vattenfall och Björklinge Energi.

Boverket använder klimatzonsindelning för att anpassa kraven på byggnaders energianvändning till olika delar av landet (BFS 2011:6). Uppsala ligger i klimatzon III.

3.1.2 Uppsala klimatprotokoll

Deltagare från organisationer och företag i Uppsala har startat ett samarbete i syfte att minska sin energianvändning och klimatpåverkan (Uppsala kommun, 2013). Samarbetet går under namnet Uppsala klimatprotokoll och vill genom att kombi-

nera kommunens kunnande om de lokala förutsättningarna och organisationernas eget expertkunnande skapa förutsättningar för en effektiv klimatutveckling i Uppsala-området. Samtliga deltagare har kartlagt sin egen energianvändning och klimatpåverkan. Man har sammanställt kartläggningarna och kommer med utgångspunkt i dessa att årligen ta fram nya mål och åtgärder för klimatet.

Data om åtgärder för minskad energianvändning har hämtats från Uppsala klimatprotokoll och ligger till grund för det aktörsscenario som används i implementeringen av metoden för beslutsstöd för klimatåtgärder i en kommun.

Vissa av åtgärderna ligger utanför avgränsningen av examensarbetet och kommer inte analyseras här. De åtgärder som ingår i aktörsscenario är sådana som syftar till förändringar inom det stationära energisystemet. Därtill har endast de åtgärder sådana som har tillräcklig täckning med avseende på indata till energisystemmodellen LEAP som används.

3.2 Energianvändning

Det finns olika källor till energistatistik för kommuner. Det kan exempelvis röra sig om data för en viss energibärare eller en viss sektor. Det här kapitlet tar först upp övergripande statistik som spänner över samtliga sektorer. Därefter följer beskrivning av sektorerna var och en för sig där den övergripande statistiken kompletteras med sektorspecifik data för att kunna ta fram mer exakt indata till LEAP. I vissa fall finns det flera källor som beskriver samma data och ofta stämmer inte värdena överens.

När indata samlades in hade källorna med den senaste statistiken data från 2010. I vissa fall fanns endast statistik för tidigare år än så tillgänglig. Indata som används för basåret bygger därför på statistik för olika år mellan 2008 och 2010.

Sammanfattningsvis så har valet av datakälla främst fallit på den senaste statistiken och om statistik från flera olika källor för samma år funnits tillgänglig har sektorspecifik statistik använts.

3.2.1 Normalårskorrigerings

Vissa år är kallare eller varmare än normalt. Om energianvändning för olika år ska kunna jämföras med varandra måste man ta hänsyn till detta då det påverkar den energi som används till uppvärmning. När långsiktiga trender för energianvändning till uppvärmning studeras går det att justera för skillnader i temperatur med normalår och SMHI:s graddagar (Energimyndigheten, 2009a).

Graddagar är ett mått på hur mycket den uppmätta temperaturen för en viss tidsperiod inom ett geografiskt område avviker från den normala temperaturen inom området (SMHI, 2010). Antalet graddagar inom tidsperioden räknas som summan av dygnsmedeltemperaturens avvikelse mot 17°C för varje dygn inom perioden där dygnsmedeltemperaturen understiger gränsvärdet 17°C (för vår, sommar och höst används lägre gränsvärden för att kompensera för uppvärmning genom solinstrålning).

Om summan av skillnaden från normaltemperaturen varje månad summeras för ett visst år får man antalet graddagar det året (Energimyndigheten, 2008). Från 2003 används ett genomsnitt för åren 1970-2000 som normalår. I ekvation 1 anges formeln för normalårskorrigerad energianvändning.

$$E(korrigerad) = E(uppmätt) \left(\frac{1}{1 + 0,5 \left(\frac{DDÅ - DDNÅ}{DDNÅ} \right)} \right) \quad (1)$$

För att få den normalårskorrigerade energianvändningen $E(korrigerad)$ multipliceras faktisk energianvändning $E(uppmätt)$ med en korrigeringsfaktor i uttrycket inom parentes i ekvation 1, innehållande antalet graddagar aktuellt år $DDÅ$ och antalet graddagar för normalåret $DDNÅ$. Graddagar för normalåret 1970 – 2000 var 3716.

Graddagar för olika orter säljs av SMHI. I *Energistatistik för småhus, flerbo- stadshus och lokaler 2010* (Energimyndigheten, 2011b) finns dock en tabell med normalårskorrigerad summerad energianvändning i landet för uppvärmning och varmvatten i bostäder och lokaler åren 1985–2010. Ur den går att läsa graddagar som procent av normalår. Tabell 2 innehåller graddagar i procent av normalår från nämnda rapport multiplicerade med normalåret 1970 – 2000.

Tabell 2. Graddagar i procent av normalår, antagna graddagar och korrigeringsfaktor (Energimyndigheten, 2011b)

	Graddagar i procent av normalår	Graddagar	Korrigeringsfaktor
2003	94,5%	3 512	1,03
2004	92,0%	3 419	1,04
2005	92,2%	3 426	1,04
2006	89,1%	3 311	1,06
2007	89,0%	3 307	1,06
2008	84,2%	3 129	1,09
2009	91,9%	3 415	1,04
2010	111,6%	4 147	0,95

3.2.2 Utsläpp av växthusgaser

Data för emissioner vid bränsleförbränning har hämtats från Naturvårdsverket (2009). Tabell 3 visar utsläpp av växthusgaserna koldioxid, metan och lustgas vid förbränning av icke-förnyelsebara bränslen.

Tabell 3. Emissionskoefficienter, kg/GJ (Naturvårdsverket, 2009)

	Eldningsolja 1	Eldningsolja 2-5	Torv	Kommunalt fast avfall
<i>CO₂</i>				
Kraftverk och fjärrvärme	74,6	76,2	107,3	25
Industri	74,6			
Hushåll och övrigt	74,6			
<i>CH₄</i>				
Kraftverk och fjärrvärme	0,001	0,002	0,02	0,005
Industri	0,001			
Hushåll och övrigt	0,002			
<i>N₂O</i>				
Kraftverk och fjärrvärme	0,002	0,005	0,005	0,006
Industri	0,002			
Hushåll och övrigt	0,002			

För att slå samman klimatpåverkan från varje gas räknas dessa om i CO₂-e där CO₂, CH₄ och N₂O räknas som 1, 21 respektive 310 CO₂-e. Tabell 4 visar sammanslagen klimatpåverkan från CO₂, CH₄ och N₂O vid förbränning av bränslena i tabell 3.

Tabell 4. Utsläpp av växthusgaser, kg CO₂-e per GJ (Naturvårdsverket, 2009)

	Kraftverk och fjärrvärme	Industri	Hushåll och övrigt
Eldningsolja 1	75	75	75
Eldningsolja 2-5	78		
Torv	109		
Kommunal fast avfall	27		

Inom kategorierna ”Industri” och ”Hushåll och övrigt” antas inte eldningsolja 2-5, torv eller kommunalt fast avfall användas.

För utsläpp från el som importeras till kommunen används emissionskoefficient för Nordisk elmix 2010 på 100 kg CO₂-e/MWh (Svensk energi, 2011).

3.2.3 Övergripande energistatistik

Energianvändning i kommunen enligt SCB

På SCB:s hemsida går det att hämta energistatistik per kommun. Energianvändningen är dock inte graddagskorrigerad. Vissa poster har sekretessbelagts och visar då endast ”..”. I tabell 5 visas slutanvändningen av energi inom Uppsala kommun 2009 och 2010.

Tabell 5. Slutanvändning av energi inom Uppsala kommun 2009 och 2010, ej graddagskorrigerad, MWh (SCB, 2012)

		2009	2010
		MWh	MWh
Jordbruk, skogsbruk, fiske	flytande (icke förnybara)	40 440	37 061
	el	37 240	51 433
Industri, byggverks.	flytande (icke förnybara)	4 506	5 802
	fast (förnybara)
	fjärrvärme	..	171 298
	el	139 946	114 898
Offentlig verksamhet	flytande (icke förnybara)	5 263	7 616
	fjärrvärme	..	197 958
	el	216 008	187 111
Övriga tjänster	flytande (icke förnybara)	51 698	54 069
	fjärrvärme	..	330 711
	el	640 528	585 928
Småhus	flytande (icke förnybara)	1 754	2 450
	fast (förnybara)	107 650	87 943
	fjärrvärme	..	148 436
	el	335 046	392 151
Flerbostadshus	flytande (icke förnybara)	403	574
	fjärrvärme	..	803 747
	el	127 187	154 142
Fritidshus	flytande (icke förnybara)	0	0
	el	0	22 091

Elanvändning

Statistik över elanvändning har hämtats från elnätsägare i kommunen. I Uppsalas fall är ägarna Vattenfall eldistribution och Björklinge Energi. Statistiken överlämnas uppdelat enligt SNI2007 (Svenskt näringslivsindex, 2007). För att fördela statistiken på sektorer har klimatkommunernas metod för ometikettering av elnätsstatistik till sektorsnivå använts (Klimatkommunerna, 2011). Tabell 6 visar statistik från elnätsägare över elanvändning inom Uppsala kommun 2009 som ometiketterats till sektorsnivå.

Tabell 6. Elanvändning inom olika Uppsala kommun uppdelat på sektorer, 2009 (Vattenfall eldistribution, 2011; Björklinge energi, 2011)

Sektor	[MWh]	Uttagspunkter
Industri	163 789	1 051
Jordbruk	27 858	916
Energi	41 282	39
Privat verksamhet	553 713	7 465
Offentlig verksamhet	438 280	5 194
Småhus		
–småhus med förbrukning över 10 000 kWh	253 170	13 945
–småhus med förbrukning om högst 10 000 kWh	63 064	10 803
–fritidsbostäder	25 533	4 431
Flerbostadshus		
–flerbostadshus, direktlev. med förbrukning över 5 000 kWh	21 372	3 755
–flerbostadshus, direktlev. med förbrukning om högst 5 000 kWh	108 206	49 718
–flerbostadshus, kollektivleveranser	0	0
Totalt	1 696 267	97 317

Posten ”Transporter” har exkluderats från tabellen ovan. Eftersom det mobila energisystemet inte innefattas av arbetet har energi till transporter utelämnats. Posten ”Privat verksamhet” har döpts om från ”Service” i den ursprungliga statistiken. ”Fritidsbostäder” utgjorde från början en egen post men har flyttats till ”Småhus”.

Fjärrvärme, fjärrkyla och ånga

Vattenfall Värme levererade 2008 fjärrvärme, fjärrkyla och ånga inom Uppsala kommun enligt tabell 7.

Tabell 7. Enligt Karlsson³ av Vattenfall Värme levererad fjärrvärme, fjärrkyla och ånga 2008, MWh

	Bostäder	Offentliga lokaler	Övriga lokaler	Industrier	Småhus	Totalt
Uppsala	680 465	143 516	267 620	65 199	128 760	1 285 560
Storvreta	6 929	3 415	915	0	3 023	14 282
Kyla	0	6 116	1 248	18 100	0	25 464
Ånga	0	0	31	106 961	0	106 992

Bionär (2012) levererar årligen närvärme inom Vänge, Bälinge och Björklinge enligt tabell 8. I Vänge och Bälinge finns anläggningar med pelletseldade pannor. I Björklinge har inte Bionär någon egen anläggning utan köper hetvatten från en biopanna ägd av Eon.

³ Anna Karlsson, miljöspecialist Vattenfall Värme, e-post 2010.

Tabell 8. Producerad närvärme per år av Bionär (2012)

Anläggning	Björklinge	Bälinge	Vänge
Producerade MWh/år	3 000	1 500	2 800
Privatkunder	0	0	10
Företagskunder	3	1	6
Bränsle	Hetvatten	Pellets	Pellets

Oljeanvändning

Statistik över oljeleveranser inom kommunen 2009 har tagits fram av SCB och visas i tabell 9.

Tabell 9. Oljeleveranser till Uppsala kommun 2009, m³ (SCB, 2010)

	Eo 3-6	Eo 1	Eo 2
Jordbruk, skogsbruk, fiske	0	568	0
Industri	0	288	0
El- och värmeverk	1 067	2 064	4 414
Offentlig förvaltning	0	384	0
Bostadshus	0	150	0
Övriga fastigheter	0	4 415	0
Övrigt	0	2 971	0
Totalt	1 067	10 841	4 414

Posterna ”Bensin”, ”Diesel” och E85 har exkluderats från tabellen då all användning av dessa bränslen antas tillhöra det mobila energisystemet och arbetsmaskiner.

3.2.4 Sektorspecifik energianvändning

Småhus

I Energimyndighetens rapport *Energistatistik för småhus 2010* finns sektorspecifik energistatistik för småhus i Uppsala kommun. Tabell 3.33 i rapporten innehåller total energianvändning för uppvärmning och varmvatten (Energimyndigheten, 2011c). Denna är inte graddagskorrigerad och innehåller hushållsel för de 14 101 st bostäder som helt eller delvis värms med elvärme. För att korrigera för hushållsel används en schablon på 30 kWh/m² i småhus (Sveby, 2009). År 2010 värmdes 2499 bostäder i Uppsala kommun helt med direktverkande el (Energimyndigheten, 2011c). Totala elanvändningen för gruppen var 160 kWh/m² och 20,9 MWh per hus. Därigenom kan användningen av hushållsel för ett hus beräknas;

$20,9/160*30*1000 = 3\,119$ kW. Totala antalet småhus helt eller delvis uppvärmda med elvärme multipliceras med denna siffra för att ta fram total hushållselanvändning som behöver dras bort från Tabell 3.33; $3\,119*14\,101/1000=55\,218$ MWh. Hushållsel för samtliga småhus har beräknats med samma schablon. Tabell 10 visar den graddagskorrigerade energianvändningen för småhus under basåret.

Tabell 10. Total energianvändning i småhus, graddagskorrigerad, GWh

	Olja	Fjärrvärme	Biobränsle	Elvärme	Hushållsel	Totalt
GWh	17	137	84	239	97	572

Antalet bergvärmepumpar i småhus i kommunen 2010 var 4 050 st (Energimyndigheten, 2011c). Exakt antal jord/sjö/luft-luft- och luft-vattenvärmepumpar saknas men kan uppskattas om fördelningen inbördes bland värmepumparna antas följa den i riket 2010 som anges i tabell 11.

Tabell 11. Antal småhus i Sverige med någon värmepump år 2010, 1000-tal (Energimyndigheten, 2011c)

Typ av värmepump	
Samtliga typer av VP	877
Luft-luft	274
Luft-vatten/frånluft	183
Berg/jord/sjö	327
Kombinationer	94

Antal värmepumpar av olika slag i Uppsala kommun 2010 antas fås om värden i tabell 11 multipliceras med $4050/327$. Resultatet visas i tabell 12.

Tabell 12. Antagna antal av olika värmepumpar i småhus i Uppsala kommun

Typ av värmepump	
Samtliga typer av VP	10 874
Luft-luft	3 394
Luft-vatten/frånluft	2 267
Berg/jord/sjö	4 050
Kombinationer	1 164

Beräknat utbyte från solfångare 2008 var enligt uppgift från länsstyrelsen i Uppsala län 703 MWh, vilket är cirka 0,1% av energin till värme och varmvatten. Efter-

som andelen är så liten och solvärmestödet upphörde årsskiftet 2011/2012 tas inte solvärme med i energianvändningen.

Flerbostadshus

För uppdelning av elanvändning i flerbostadshuslägenheter mellan hushållsel och el till uppvärmning används en metod som föreslås av Klimatkommunerna (2011). För att kunna använda sig av den behövs statistik från elnätsägare likt den i tabell 6. Tabell 13 innehåller den data från tabell 6 som behövs för beräkningen av hushållsel och el till uppvärmning i flerbostadshus.

Tabell 13. Elanvändning i lägenheter i flerbostadshus (Vattenfall eldistribution, 2011; Björklinge energi, 2011)

	[MWh]	Uttagspunkter
–flerbostadshus, direktlev. med förbrukning över 5 000 kWh	21 372	3 755
–flerbostadshus, direktlev. med förbrukning om högst 5 000 kWh	108 206	49 718

Lägenheter i kategorin med en förbrukning om högst 5000 kWh antas inte vara eluppvärmda. Värdet divideras med antalet uttagspunkter, 49 718 stycken, för att få en schablon för hushållsel i flerbostadshus. Schablonen 2 176 kWh per lägenhet kan sedan multipliceras med totala antalet uttagspunkter för att få total hushållselanvändning vilket blir 116 378 MWh. År 2010 var den totala elanvändningen i flerbostadshus 154 142 MWh (SCB, 2012). Om hushållselanvändningen antas vara lika stor som 2009 återstår el till uppvärmning om 37 764 MWh. Enligt statistik från elnätsägare ingår abonnemang som enbart avser elpannor, värmepumpar och andra gemensamma anordningar (trappbelysning, hissar m.m.) i kategori 8.7 fastighetsförvaltning - bostadsfastigheter vilken enligt klimatkommunernas fördelningsprincip ingår i ”service” (kategorin service kallas i detta arbete för Privat Sektor).

Statistik från SCB (2012) visar att det i flerbostadshus 2010 användes 574 MWh flytande, icke förnybara bränslen samt 803 747 MWh fjärrvärme. Samtliga flytande, icke förnybara bränslen antas här utgöras av eldningsolja 1.

Tabell 14 visar den graddagskorrigerade energianvändningen för flerbostadshus under basåret

Tabell 14. Total energianvändning i flerbostadshus, graddagskorrigerad, GWh

	Olja	Fjärrvärme	Elvärme	Hushållsel	Totalt
GWh	0,5	760	36	116	912

Privat sektor

Energistatistik för fjärrvärme, el och olja 2010 hämtas från SCB (2012). Enligt Energimyndighetens rapport *Energistatistik för lokaler 2010* värmdes 2010 96,1 miljoner kvadratmeter lokalarea med enbart fjärrvärme och 7,1 miljoner kvadratmeter lokalarea med enbart el (Energimyndigheten, 2011d). Specifik energianvändning för värme och varmvatten med enbart fjärrvärme var 148 kWh/m² och 140 kWh/m² för elvärme.

Uppgifterna ovan kan användas för att beräkna andelen MWh elvärme per MWh fjärrvärme. Det värdet blir 7 procent vilket i Uppsala kommuns fall innebär 44 765 MWh elvärme. Metoden är väldigt osäker då Energimyndighetens siffror baseras på ett nationellt urval där både andel elvärme jämfört med fjärrvärme och uppvärmningsbehov i olika delar av landet varierar. Dock är fjärrvärmeanvändning i landet generellt sett så pass dominerande vid energi till uppvärmning och varmvatten i lokaler, att den använda fördelningen trots allt antas ge en viss indikation om förhållandet el/fjärrvärme. Totalt sett 82 procent av all energin till uppvärmning och varmvatten i lokaler kom 2010 från fjärrvärme.

Fjärrkyla och ånga till ”övriga lokaler” uppgick 2008 till 1 248 MWh repektive 31 MWh enligt tabell 7. Då uppgifter för senare år saknas antas att användningen var lika stor 2010.

Tabell 15 visar den graddagskorrigerade energianvändningen för privat sektor under basåret.

Tabell 15. Total energianvändning i privat sektor, graddagskorrigerad, GWh

	Fjärrvärme	Kyla	Ånga	El ej värme	Elvärme	Olja	Summa
GWh	313	1	0,03	511	42	51	919

Offentlig sektor

Energistatistik för fjärrvärme, el och olja 2010 hämtas från SCB (2012). För att uppskatta el till uppvärmning och varmvatten används samma metod som för Privat Sektor; det vill säga den elen antas motsvara 7 procent av fjärrvärmeanvändningen. Fjärrkyla till offentliga lokaler uppgick 2008 till 6 116 MWh enligt tabell 7. Då uppgifter för senare år saknas antas att användningen var lika stor 2010.

Tabell 16 visar den graddagskorrigerade energianvändningen för offentlig sektor under basåret.

Tabell 16. Total energianvändning i offentlig sektor, graddagskorrigerad, GWh

	Fjärrvärme	Kyla	El ej värme	Elvärme	Olja	Summa
GWh	187	6	174	13	7	388

Industri

Uppgifter om fjärrvärme- och elanvändning hämtas från SCB (2012), kyla och ånga från tabell 7, biobränsle från SCB (2011) och olja från av SCB (2010). Information saknas om hur mycket av elanvändningen som går åt till uppvärmning och varmvatten och denna har därför inte kunnat graddagskorrigeras.

Tabell 17 visar den graddagskorrigerade energianvändningen för industrin under basåret.

Tabell 17. Total energianvändning inom industrin, graddagskorrigerad, GWh

	Fjärrvärme	Kyla	El	Biobränsle	Olja	Summa
GWh	162	18	115	40	6	341

Jordbruk, skogsbruk och fiske

Uppgifter om elanvändning inom sektorn ”jordbruk, skogsbruk och fiske” kommer från kommunal energistatistik 2010 (SCB, 2012). Användning av eldningsolja har hämtats från uppgifter om oljeleveranser till kommunen 2009 (SCB, 2010). Normalårskorrigerad energianvändning för sektorn under basåret visas i tabell 18.

Tabell 18. Total energianvändning inom jordbruk, skogsbruk och fiske, graddagskorrigerad, GWh (SCB, 2010, 2012)

	El	Eldningsolja
GWh	37	6

3.2.5 Storskalig energiomvandling/energidistribution

All statistik för storskalig energiproduktion har omarbetats till ett format som går att använda som indata till LEAP. Som indata till basåret för Vattenfall värmes produktion i Uppsala stad har uppskattade värden för år 2011 använts. Anledningen är att det under 2010 installerades en turbin för elproduktion från avfallsförbränning och 2011 var första tillfället att inkludera bidraget från denna under ett helt år. Total insats av bränsle och drift till Vattenfall värmes produktion i Uppsala stad 2011 var under basåret cirka 2 TWh fördelat enligt tabell 19.

Tabell 19. Enligt Karlsson⁴ insatt energi till bränsle och drift för Vattenfall värmes produktion under basåret, procent

El	Olja	Torv	Trä	Avfall	Spillvärme
4%	4%	35%	5%	50%	2%

Tabell 20. Enligt Karlsson⁴ tillförd, producerad och levererad energi från Vattenfall värmes anläggning i Uppsala stad under basåret

	Totalt TWh	Fjv TWh	El TWh	Ånga TWh	Fjk TWh
Tillfört	2,0	1,5	0,3	0,1	0,03
Produktion	1,9	1,5	0,3	0,1	0,03
Leverans	1,7	1,3	0,3	0,1	0,03

Kvoten av tillfört bränsle och produktion används för att beräkna verkningsgraden för omvandling. Kvoten mellan produktion och leverans används som verkningsgrad för distributionssystem.

Vattenfalls anläggning i Storvreta levererade 2010 cirka 16 GWh fjärrvärme. Insatt bränsle bestod till 92% av trä och 8% av olja. År 2010 var dock kallare än normalt vilket ledde till att det behövdes mer spetsvärme i form av oljeeldning och därför har ett medelvärden av åren 2008, 2009 och 2010 istället använts. Indata till LEAP för anläggningen i Storvreta visas i tabell 21.

Tabell 21. Insatt bränsle, levererad energi och förluster för Vattenfalls anläggning i Storvreta som medelvärde av åren 2008, 2009 och 2010 (Vattenfall värme Uppsala, 2009, 2010, 2011b)

Bränsle	2008 MWh	2009 MWh	2010 MWh	Andel Procent
Insatt bränsle; trä	21,0	23,0	23,0	96%
Insatt bränsle; olja	0,1	0,4	2,1	4%
Levererad energi	14	14,6	15,7	14,8 MWh
Förluster (i omvandling, distribution och lagring i berggrum)	34%	37%	37%	36%

Produktion och bränsle för Bionärs närvärmeanläggningar i Bältinge, Björklinge och Vänge finns under tabell 8. I LEAP används en enda samlad ”modul” för fjärrvärmeproduktion och bidragen från Bionärs anläggningar anses vara så pass liten del av totala produktionen att deras omvandlings och distributionsförluster kan försummas.

⁴ Anna Karlsson, miljöspecialist Vattenfall Värme, e-post 2010.

3.3 Referensscenario

I referensscenariot beskrivs energisystemets utveckling enligt ”business as usual” fram till 2030. Energianvändningen antas förändras enligt gällande och beslutade styrmedel och skattesatser.

Utvecklingen beskrivs separat för befintliga och tillkommande bestånd av bostäder och lokaler.

3.3.1 Slutanvändning av energi

Befintliga småhusbeståndet

Enligt Energimyndigheten (2011a) kommer konvertering av olja att ske till fjärrvärme, pellets och värmepumpar. Konvertering kommer även ske från elvärme till värmepumpar. Mängden installerade värmepumpar ökar hela perioden fram till 2030. Även biobränsle ökar under hela perioden. Fjärrvärmeanvändningen bedöms öka främst till följd av konvertering från elvärme.

För att på något sätt anta en utveckling för värmepumpar har linjär regression använts på installationer av olika värmepumpstyper i riket. På så sätt fås en linjär årlig ökning av antalet. Beräkningen bygger på statistik över antalet installerade värmepumpar i småhus per år från 2006 till 2010 (Energimyndigheten, 2009b, 2011c). Lutningen justeras ned för att kompensera för värmepumpsinstallationer i nybyggda småhus. Av totala andelen värmepumpar i riket 2010 fanns 94% i hus med byggår före 2001.

Användningen av hushållsel antas vara relativt stabil fram till 2030 på grund av två motverkande trender. Ekodesigndirektivet ställer hårdare krav på energieffektiva apparater samtidigt som trenden är att antalet apparater per kvadratmeter ökar (Energimyndigheten, 2011a).

Den totala energianvändningen för värme och varmvatten antas vidare löpa med en effektiviseringstakt på 0,3% per år samtidigt som nettoareaförändringen antas bli 0,05% per år till följd av tillbyggnation och rivning.

Följande antaganden matas in i LEAP för befintliga småhus:

- Olja fasas ut helt till 2030 och värmebehovet täcks upp av lika delar fjärrvärme, pellets och värmepumpar.
- Ökning av värmepumpar sker på bekostnad av direktverkande el och elpanna. Antalet och därmed andelen värmepumpar ökar linjärt. Lika mycket energi som de nya värmepumparna tillför dras bort från energi tillförd från direktverkande el (50% av energin) och elpanna (50% av energin).

- Hushållselanvändningen antas vara oförändrad
- Energieffektivisering på 0,3% per m² och år samt nettoareaförändring på 0,05% per år

Tillkommande småhus

Behovet av nya bostäder är cirka 20 000 – 25 000 stycken fram till 2030. Indikativ fördelning är 1/3 i småhus och 2/3 i flerbostadshus (Uppsala kommun, 2009). Cirka 19 800 bostäder antas tillkomma i Uppsala tätort, 4225 i övriga tätorter och 500 på landsbygden. I tätorterna (borträknat Uppsala tätort) antas 85% utgöras av småhus och resten av flerbostadshus. På landsbygden antas 100% av de nya bostäderna bli småhus. I staden antas att 20% av tillkommande bostäder utgörs av småhus och resterande 80% av flerbostadshus. En sammanställning av tillkommande bostäder visas i tabell 22.

Tabell 22. Antaget bostadstillskott fram till 2030 (Uppsala kommun, 2009)

Område	Totalt tillskott	Småhus	Lägenheter
Staden	19800	3960	15840
Tätorter	4225	3591	634
Landsbygd	500	500	0
	Summa	8051	16474

Antalet småhus i riket med byggår från och med 2001 uppgick 2010 till cirka 54 000 fördelat på 7,7 miljoner kvadratmeter (Energimyndigheten, 2011c). Det ger en snittarea på 143 m² per småhus byggt efter 2001.

Hälften av alla småhus inom Uppsala tätort antas installera fjärrvärme, hälften elvärme och alla småhus utanför staden antas installera elvärme. BBR (Boverkets byggregler) innehåller samlade föreskrifter och allmänna råd för svenska byggnader. I BBR nr 19 anges kravet på specifik energianvändning i bostäder i temperaturzon III till 90 kWh/m²A_{temp} (A_{temp} avser förenklat area inomhus som värms till mer än 10°C). för bostäder med annan uppvärmningsform än elvärme och till 55 kWh/m² A_{temp} för bostäder med elvärme. Ingen bedömning görs för vilken typ av elvärme som installeras. Endast den högsta tillåtna specifika energianvändningen används som indata.

Antal tillkommande bostäder, antagen fördelning för uppvärmningsformer, beräknad snittarea på 143 m² per nybyggt småhus, Boverkets krav på specifik energianvändning och den beräknade schablonen för befintliga småhus används som indata till LEAP.

Befintliga flerbostadshusbeståndet

Enligt Energimyndigheten (2011a) sker en övergång från olja till fjärrvärme, pellets och värmepumpar. Installation av värmepumpar antas öka och sker ofta i byggnader med elvärme vilket minskar elanvändningen för uppvärmning. Resonemangen för framtida användning av hushållsel i det befintliga beståndet som beskrivs i småhus gäller även flerbostadshus.

Följande antaganden matas in i LEAP för befintliga flerbostadshus:

- Olja fasas ut helt till 2030 och värmebehovet täcks upp av lika delar fjärrvärme, pellets och värmepumpar.
- Ökning av värmepumpar sker på bekostnad av direktverkande el och elpanna. Eftersom det inte finns tillgänglig statistik över fördelningen värmepumpar och övrigt antas all elvärme för basåret utgöras av direktverkande el. Den totala elvärmeanvändningen kommer att minska enligt punkten nedan och detta antas bero på konvertering till värmepumpar.
- Energieffektivisering på 0,2% per m² och år samt nettoareaförändring på 0,05% per år
- Hushållselanvändningen antas vara oförändrad

Tillkommande flerbostadshus

Nybyggda flerbostadshus antas i viss utsträckning installera fjärrvärme (Energimyndigheten, 2011a). I tabell 22 under "Tillkommande lägenheter" anges tillkommande bostäder i flerbostadshus fram till 2030 samt deras fördelning över staden, tätorter och landsbygd. Det antas att samtliga tillkommande flerbostadshus inom staden installerar fjärrvärme och övriga installerar elvärme.

År 2010 uppgick uppvärmd area för bostadslägenheter i flerbostadshus med byggår från och med 2001 och framåt till cirka 9,1 miljoner kvadratmeter fördelat på cirka 130 000 lägenheter (Energimyndigheten, 2011b). Det ger en snittarea på 70 kvadratmeter för relativt nybyggda lägenheter.

Kravet på specifik energianvändning i bostäder i BBR 19 för temperaturzon III, area för nybyggda lägenheter och fördelningen staden, tätorter och landsbygd används som indata till LEAP.

Befintliga lokaler inom privat sektor, offentlig sektor och industri

I likhet med utvecklingen för småhus och flerbostadshus sker det konverteringar från olja till fjärrvärme, pellets och värmepumpar samt konverteringar från elvärme till olika typer av värmepumpar (Energimyndigheten, 2011a). Användningen

av driftel antas vara stabil fram till 2030. El till fastighets- och verksamhetsenergi antas vara stabil framöver förutom den del som utgörs av elvärme (eget antagande).

Följande antaganden matas in i LEAP för befintliga lokaler:

- Olja fasas ut helt till 2030 och värmebehovet täcks upp av lika delar fjärrvärme, pellets och värmepumpar.
- Ökning av värmepumpar sker på bekostnad av direktverkande el och elpanna. Eftersom det inte finns tillgänglig statistik över fördelningen värmepumpar och övrigt antas all elvärme för basåret utgöras av direktverkande el. Den totala elvärmeanvändningen kommer att minska enligt punkten nedan och detta antas bero på konvertering till värmepumpar.
- Energieffektivisering på 0,2% per m² och år men ingen nettoareaförändring
- El som inte används till uppvärmning antas vara oförändrad

Tillkommande lokaler inom privat sektor, offentlig sektor och industri

Behovet av lokaler avsedda för kontor, handel, industri, kommersiell service och offentlig service finns listade i tre olika scenarier i en underlagsrapport till Uppsalas översiktsplan 2010 (Uppsala kommun, 2009). I huvudscenariot ser behovet ut som i första kolumnen i tabell 23. I LEAP används värdet i mitten av det angivna intervallet för varje sektor förutom Offentlig service där behovet antas uppgå till exakt hundra tusen kvadratmeter 2030 (andra kolumnen i tabell 23).

Tabell 23. Utbyggnadsbehov av lokalyta fram till 2030 (Uppsala kommun, 2009)

	Utbyggnadsbehov 1000 m ²	Val av indata 1000 m ²
Kontor	200 - 250	225
Handel	100 - 150	125
Industri	300 - 500	400
Privat Service	20 - 30	25
Offentlig Service	>100	100

För att få en uppskattning om andelen kontor tillhörande privat respektive offentlig sektor används den nationella fördelningen 2010. Av totalt 28,1 miljoner kvadratmeter uppvärmd area inom kontor och förvaltning tillhörde 5,8 miljoner stat, landsting och kommun (Energimyndigheten, 2011d). Det motsvarar 21% kontor i offentlig regi. Resterande 79% antas tillhöra privata sektorn. Denna fördelning

avser hela Sverige men används i brist på annat underlag. För den geografiska fördelningen antas A-, B- och C-läge ligga helt innanför staden medan D ligger utanför. Antar att all tillkommande lokalyta innanför staden värms med fjärrvärme och övrig med elvärme.

Enligt statistik över energianvändningen i svenska lokaler 2009 uppgick användning av verksamhetsel till 14 500 GWh, användning av fastighetsel till 330 GWh och elkyla till 240 GWh (Energimyndigheten, 2011e). Byggnaderna i statistiken hade en total area av 134 miljoner m². Specifika elanvändningen för dessa kategorier blir då 108 kWh/m² verksamhetsel, 2,5 kWh/m² fastighetsel och 1,8 kWh/m² elkyla.

I BBR 19 är kraven på specifik energianvändning för lokaler som har annat uppvärmningssätt än elvärme $80 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ i klimatzon III. För lokaler med elvärme är kravet $55 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$. Kraven innefattar fastighetsel och el till komfortkyla. Boverkets krav korrigeras enligt specifik användning av fastighetsel och elkyla i föregående stycke.

En sammanställning över energianvändningen i tillkommande lokaler som används som indata till LEAP visas i tabell 24.

Tabell 24. *Energianvändning i tillkommande lokaler som används som indata till LEAP, kWh/m² (Energimyndigheten, 2011e; BFS 2011:6)*

	kWh/m ²
Uppvärmning ej el (fjärrvärme)	75,7
Uppvärmning el	50,7
Fastighetsel	2,5
Elkyla	1,8
Verksamhetsel	107,9

Jordbruk, skogsbruk och fiske

Energimyndigheten (2011a) bedömer att energianvändningen inom skogsbruket ökar fram till 2020 och sedan minskar fram till 2030. Inom jordbruket antas energianvändningen minska. Någon storlek på förändringarna i energianvändning anges dock inte. I brist på underlag lämnas energianvändningen inom jordbruk, skogsbruk och fiske därför konstant fram till 2030.

3.3.2 Storskalig energiomvandling/energidistribution

Eftersom referensscenariot ska följa en utveckling enligt ”business as usual” antas denna kategori till stor del förbli oförändrad. Jämfört med basåret antas insatta bränslen till produktion av fjärrvärme, fjärrkyla, ånga och lokal el utgöra samma

andel av totala insatsen som vid basåret. Enda skillnaden blir att volymen förändras beroende på förändrat energibehov hos slutanvändare. Inte heller förluster i omvandling och distribution antas förändras. Växthusgasutsläpp per energienhet för lokal produktion antas förbli likadan fram till 2030.

För emissioner av växthusgaser från produktion av importerad el används en prognos för nordisk elmix från Profu⁵. Prognosen innehåller värden för vissa år. Bland annat 72 g CO₂/kWh för 2030. Värdet för 2020 interpoleras i LEAP.

⁵ John Johnsson, Profu, e-post 2010

3.4 Aktörsscenario

3.4.1 Åtgärder

I tabell 25 listas vissa av åtgärderna som var planerade av deltagarna i Uppsala klimatprotokoll vid årsskiftet 2010/2011 (Uppsala klimatprotokoll, 2010b). Endast åtgärder inom det stationära energisystemet har tagits med och egna antaganden har i flera fall gjorts då information saknats om det är el eller fjärrvärme som de energibesparande åtgärderna avsett att minska.

Tabell 25. Planerade energibesparingar relativt referensscenariot genom åtgärder för minskad energianvändning, MWh (Uppsala klimatprotokoll, 2010b)

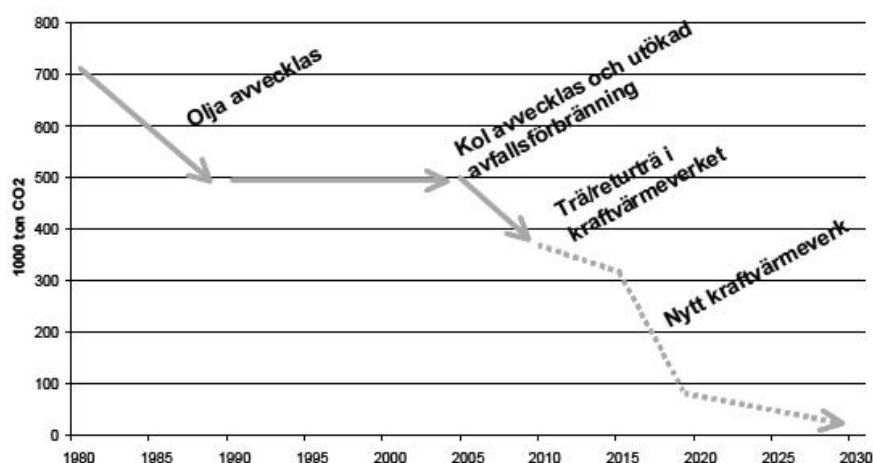
	2011	2 020		
	MWh	MWh	Energislag	
Deltagare 1	100	100	El	Offentlig sektor
Deltagare 2	1	1	El	Offentlig sektor
Deltagare 3	173	173	El	Industri
Deltagare 4	85	170	El	Privat sektor
Deltagare 5	6	11	El	Offentlig sektor
Deltagare 6	540	540	El	Flerbostadshus
Deltagare 7	87	87	El	Offentlig sektor
Deltagare 8	7 195	7 195	El	Offentlig sektor
Deltagare 9	503	503	El	Privat sektor
Deltagare 10	30	89	El	Jordbruk och skogsbruk
Deltagare 11	682	682	El	Offentlig sektor
Deltagare 12	2 550	2 550	El	Industri
Deltagare 13	0	10 732	El	Offentlig sektor
Deltagare 1	4 400	4 400	Fjärrvärme	Offentlig sektor
Deltagare 3	1 450	1 450	Fjärrvärme	Industri
Deltagare 5	10	20	Fjärrvärme	Offentlig sektor
Deltagare 6	3 833	3 833	Fjärrvärme	Flerbostadshus
Deltagare 8	7 195	7 195	Fjärrvärme	Offentlig sektor
Deltagare 9	1 286	1 286	Fjärrvärme	Privat sektor
Deltagare 11	400	400	Fjärrvärme	Offentlig sektor
Deltagare 10	2	5	Olja	Jordbruk och skogsbruk
Deltagare 13	0	10 732	Fjärrvärme	Offentlig sektor

3.4.2 Vattenfall värme

Vattenfall värme är deltagare i klimatprotokollet. De levererar fjärrvärme, el, fjärrkyla och ånga till kommunen och kan genom åtgärder inom produktionen vara den deltagare som har störst möjlighet att påverka utsläppen av växthusgaser inom kommunen.

Vattenfall värme planerar att ha en klimatneutral produktion 2030. Vägen dit antas följa kurvan i figur 2. Till att börja med ska träinblandningen i torven ökas gradvis. Nuvarande torvpannor planeras att bytas ut omkring 2020 då ett nytt kraftvärmeverk för förnyelsebara bränslen ska tas i drift (Vattenfall värme, 2010). Vattenfall erbjuder även kunder möjligheten att köpa koldioxidneutral fjärrvärme genom avtal med kunden där andelen biobränsle i totala bränslemixen ökas för att kompensera för avfallets innehåll av icke förnybart ursprung (Vattenfall värme, 2011b).

Vattenfall värmes planer på att bli klimatneutrala till 2030 antas kunna räknas inom ramen för klimatprotokollet. I aktörsscenariot antas 2030 all olja vara ersatt med tall- och beckolja och torv vara ersatt med träbränsle. Information saknas om hur stor andel av totalt insatt bränsle som maximalt kan komma att utgöras av biobränsle. Därför antas insatsen av avfall inte öka trots att bränslebehovet gör det. Ökningen antas täckas upp av träbränsle. Den kvarvarande mängden avfall kommer fortfarande leda till utsläpp av växthusgaser och den totala produktionen kommer därför inte vara 100% klimatneutral 2030.



Figur 2. Vattenfall värme planerar att ha klimatneutral produktion 2030. Bilden är hämtad från *Fjärrvärme i Uppsala – Enkel och bekväm uppvärmning* (Vattenfall värme, 2011b)

3.5 Resultat av simuleringar i LEAP

3.5.1 Energianvändning

Slutanvändning av energi per sektor, år och scenario

I både referens- och aktörsscenario ökar slutanvändningen av energi fram till 2020 enligt tabell 26. Fram till 2030 sker en ytterligare ökning. Energianvändningen påverkas av två stora motverkande trender. Dels en minskning av energianvändningen i det befintliga beståndet av bostäder och lokaler, dels en ökning av energianvändningen på grund av tillkommande bostäder och lokaler.

I de befintliga bestånden av bostäder och lokaler är energieffektiviseringstakten per år i varje sektor större än ökningen av area per år vilket gör att energianvändningen för varje år minskar jämfört med föregående år.

Tillkommande bostäder och lokaler antas uppfylla kraven på energihushållning i BBR 19 men det sker ingen årlig energieffektivisering eller areaförändring när byggnaderna är uppförda. Denna ökning av energianvändningen i tillkommande bostäder och lokaler är större än minskningen i det befintliga beståndet.

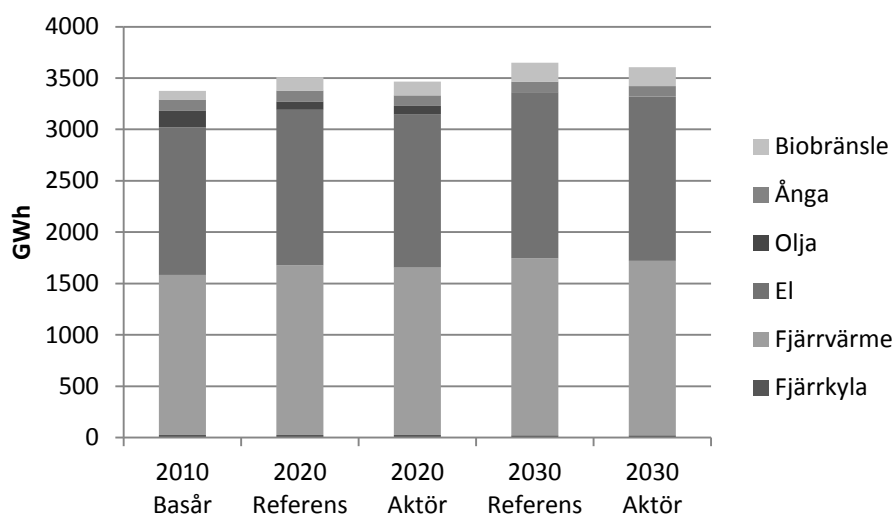
Den totala slutanvändningen av energi 2020 är cirka 1,4% mindre i aktörsscenario jämfört med referensscenario. År 2030 är motsvarande skillnad 1,2%.

Tabell 26. Slutanvändning av energi per sektor, år och scenario, GWh

	Basår	Referens- scenario	Aktörs- scenario	Referens- scenario	Aktörs- scenario
	2010	2020	2020	2030	2030
Småhus	579	599	599	621	621
Flerbostadshus	912	969	965	1 025	1 025
Privat sektor	918	912	910	935	933
Offentlig sektor	387	397	358	406	368
Industri	546	600	595	628	624
Jord och skogsbruk	34	34	34	34	34
Summa	3 376	3 510	3 461	3 650	3 605

I figur 3 kan man se att el och fjärrvärme är de energibärare som används mest 2010, 2020 och 2030 i både referens- och aktörsscenario. Biobränsle ökar och olja fasas ut i bägge scenarierna. I övrigt ändras inte fördelningen inbördes bland energibärarna speciellt mycket över de olika åren och scenarierna.

Slutanvändning av energi per år, energibärare och scenario



Figur 3. Slutanvändning av energi i kommunen per år, energibärare och scenario

I motsats till hur slutanvändningen av energi enligt figur 3 ökar fram till 2020 och 2030, minskar slutanvändningen av energi per invånare enligt tabell 27 för var och ett av dessa år i både referens- och aktörsscenario. Det beror endast på att invånarantalet för varje år procentuellt ökar mer än energianvändningen.

Slutanvändning av energi per invånare, år, sektor och scenario

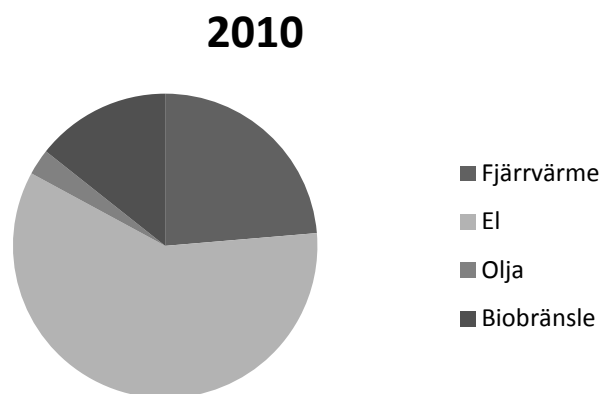
Tabell 27. Slutanvändning av energi per invånare, år, sektor och scenario, kWh/invånare

	Basår	Referens- scenario	Aktörs- scenario	Referens- scenario	Aktörs- scenario
	2010	2020	2020	2030	2030
Småhus	2 894	2 709	2 709	2 560	2 560
Flerbostadshus	4 561	4 383	4 363	4 226	4 208
Privat sektor	4 591	4 125	4 117	3 856	3 848
Offentlig sektor	1 937	1 795	1 620	1 675	1 515
Industri	2 728	2 712	2 693	2 591	2 573
Jord och skogsbruk	169	153	152	139	139
Summa	16 881	15 876	15 653	15 046	14 843

Energianvändning i småhus per år, scenario och energibärare

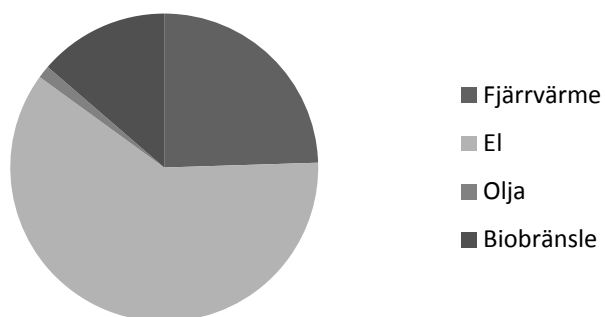
Energianvändningen i småhus i aktörs- och referensscenariot är lika stor och fördelar sig på samma sätt eftersom inga åtgärder från deltagare i klimatprotokollet har direkt påverkan på sektorn förutom Vattenfall värme. Vattenfall värmes påverkan dock endast ses på tillförselsidan och inte på slutanvändningen. Därför redovisas endast ett resultat (istället för ett per scenario) för var och ett av åren 2010, 2020 och 2030.

I fördelningen inbördes mellan energibärarna som ses i cirkeldiagrammen i figur 4, 5 och 6 ökar både fjärrvärme och el något, biobränsle minskar och olja fasas ut fram till 2030. De flesta tillkommande bostäderna värms med el men energianvändningen per m² från BBR 19 som används som indata är mindre för elvärmda bostäder än för fjärrvärme. Andelen biobränsle minskar något eftersom andelen el och fjärrvärme ökar så pass mycket mer men även för att den ökning av biobränsleanvändning på grund av konvertering från oljepannor till pellets pannor som sker är liten i förhållande till energieffektiviseringen per m² och år.



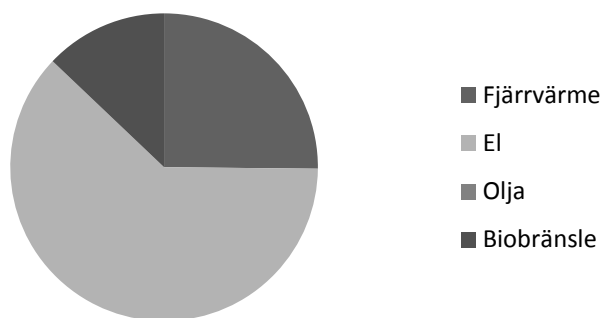
Figur 4. Energianvändning i småhus 2010

2020



Figur 5. Energianvändning i småhus 2020

2030



Figur 6. Energianvändning i småhus 2030

3.5.2 Klimatpåverkan

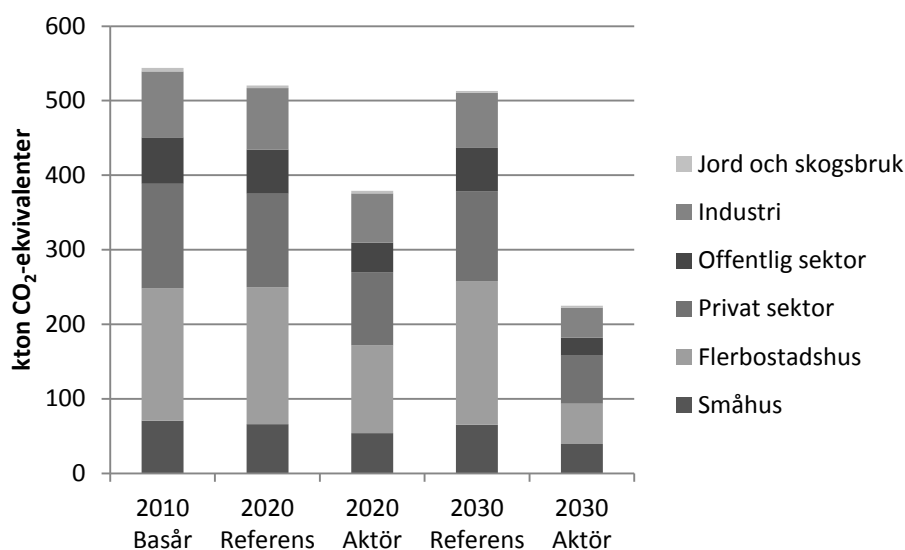
CO₂-e per år, sektor och scenario

Trots att den totala slutanvändningen av energi ökar mellan basåret och 2020 samt mellan 2020 och 2030 så minskar samtidigt de totala utsläppen av växthusgaser i både referens- och aktörsscenario enligt tabell 28 och figur 7. Anledningen är att emissionskoefficienten för importerad el (el som inte produceras lokalt av Vattenfall värme i Uppsala) minskar för varje år. Andelen elanvändning i förhållande till total energianvändning är under hela tidsperioden över 40%.

Allt eftersom Vattenfall värme i aktörsscenario ökar andelen förnybart i sin bränslemix minskar utsläppen av växthusgaser jämfört med referensscenario både 2020 och 2030. Då totala energianvändningen för aktörsscenario jämfört med referensscenario även minskar 2020 och 2030 bidrar detta också till minskade utsläpp. Effekten på grund av åtgärder för minskad slutanvändning av energi jämfört med mer förnybart i bränslemixen blir dock liten. År 2030 mer än halveras utsläppen av växthusgaser i aktörsscenario jämfört med referensscenario. För samma år används 1,2% mindre energi i aktörsscenario jämfört med referensscenario vilket ger en indikation om vilken minskad klimatpåverkan åtgärderna på användarsidan i detta fall har.

Tabell 28. Utsläpp av kton CO₂-e per år, sektor och scenario

	Basår	Referens- scenario	Aktörs- scenario	Referens- scenario	Aktörs- scenario
	2010	2020	2020	2030	2030
Småhus	71	66	54	65	39
Flerbostadshus	177	184	118	193	54
Privat sektor	141	125	98	121	64
Offentlig sektor	62	59	39	58	24
Industri	89	82	66	73	41
Jord och skogsbruk	5	3	3	3	3
Summa	544	520	379	513	225



Figur 7. Utsläpp av kton CO₂-e per år, sektor och scenario

I tabell 29 ser vi att minskningen av utsläpp CO₂-e per invånare är större än minskningen av totala utsläpp för åren 2020 och 2030 för både referens- och aktörsscenario. Anledningen är den ökande befolkningens mängd. År 2030 är utsläppen per invånare i aktörsscenario endast en tredjedel av utsläppen under basåret trots en något ökad energianvändning.

CO₂-e per invånare och sektor, scenario och invånare

Tabell 29. Utsläpp av ton CO₂-e per år, sektor, scenario och invånare

	Basår	Referens-scenario	Aktörs-scenario	Referens-scenario	Aktörs-scenario
	2010	2020	2020	2030	2030
Småhus	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2
Flerbostadshus	0,9	0,9	0,6	1,0	0,3
Privat sektor	0,7	0,6	0,5	0,6	0,3
Offentlig sektor	0,3	0,3	0,2	0,3	0,1
Industri	0,4	0,4	0,3	0,4	0,2
Jord och skogsbruk	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summa	2,7	2,4	1,7	2,1	0,9

4 Diskussion

En stor del av arbetet med att testa metoden har utgjorts av att göra egna antaganden. Den största anledningen till behovet av antaganden har varit bristen på lämpliga prognoser att använda sig av. För exempelvis framtida energianvändning inom olika sektorer användes energimyndighetens långsiktsprognois i stor utsträckning. Genom att använda sig av den tas hänsyn till faktorer som politiska styrmedel, vilkas påverkan är komplexa och tidskrävande att bedöma. Samtidigt baseras då indata på Energimyndighetens nationella prognoser vilka kanske inte speglar situationen eller utvecklingen i den aktuella kommunen. För den framtida utvecklingen användes även Uppsala kommuns prognoser för framtida bostads- och lokalbehov.

Simuleringsresultaten från LEAP visade att klimatpåverkan tydligt minskade i aktörsscenario jämfört med referensscenario. År 2030 stod el för den största andelen av utsläppen i aktörsscenario medan fjärrvärmes stod för den största andelen av utsläppen i referensscenario. Skillnaden beror på Vattenfall värmes öknings av förnyelsebart i fjärrvärmemixen i aktörsscenario. Elanvändningens klimatpåverkan beror på valet av miljövärdering. För importerad el användes prognoser för nordisk elmix. Som jämförelse visas i tabell 30 hur emissionskoefficienter för elproduktion varierar beroende på vilken metod för miljövärdering som används (Svensk Energi, 2011).

Tabell 30. Utsläpp av koldioxid från elproduktion (Svensk Energi, 2011)

	Residual mix Norden inkl. handel med mil- jövärde enligt EPED	Tidigare beräknings- sätt. Utsläpp i förhål- lande till total fossil produktion	Tidigare beräknings- sätt. Utsläpp i förhål- lande till total elan- vändning
	g CO ₂ -e/kWh	g CO ₂ -e/kWh	g CO ₂ -e/kWh
2009	249	480	85
2010	320	495	100

Utan att vidare gå in på hur de olika emissionskoefficienterna från elproduktion i tabell 30 beräknas, kan det konstateras att skillnaden är stor mellan dessa. Nordisk elmix har här den lägsta emissionskoefficienten av de tre alternativen. Ett annat val av miljövärdering av elproduktion resulterar troligtvis i kraftigt ökad klimatpåverkan då elen utgör en stor andel av den totala energianvändningen.

Det bör påpekas att de åtgärder från Uppsala klimatprotokoll som använts var sådana som diskuterades vid årsskiftet 2010/2011 när klimatprotokollet endast hade funnits ett par månader. Dessutom valdes endast sådana ut som avsåg det stationära energisystemet och som dessutom enkelt gick att formulera som minskad energianvändning.

Kommunens mål är att fram till 2020 minska utsläppen av växthusgaser per invånare med 45% jämfört med 1990-års nivå på 8,8 ton (Uppsala kommun, 2012a). Detta innebär 4,8 ton per invånare 2020. Målet avser totala utsläpp vilket förutom utsläpp från det stationära energisystemet även inkluderar utsläpp från transporter, jordbruk, industriprocesser, avfall och avlopp, lösningsmedel samt Uppsalabornas långväga resor (exempelvis semesterresor). Simuleringsresultaten visar utsläpp per invånare från det stationära energisystemet under basåret samt för referens- och aktörsscenario åren 2020 och 2030. Sådana resultat kan användas för att jämföra utrymmet för utsläpp från övriga sektorer som exempelvis transportsektorn. Det är även möjligt att modellera transportsektorns energianvändning och utsläpp i LEAP (transportsektorn ingick inte i detta examensarbete). Det skulle också vara möjligt att jämföra beräknade framtida utsläpp från övriga sektorer med de från det stationära energisystemet för att se hur starka åtgärder som måste sättas in för att minska bebyggelsens energianvändning eller vice versa.

Endast en begränsad del av funktionerna i simuleringsmodellen LEAP har använts i detta examensarbete. Det kan vara värdefullt att undersöka LEAP:s möjlighet till att hantera multipla scenarier samtidigt för att vidare undersöka hur resultaten varierar beroende på exempelvis miljövärdering av el.

5 Slutsats

I den framtagna metoden beskrivs sätt att redovisa energianvändning och klimatpåverkan. Dessa presenteras totalt samt per sektor, år, scenario och invånare. Den framtagna metoden för kartläggning och prognostisering av växthusgasutsläpp inom en kommuns stationära energisystem har tillämpats på Uppsala kommun. Energisystemsmoduleringsprogrammet LEAP klarade av att med hjälp av den indata som samlats in producera de resultat som krävdes. Det är med den föreslagna metoden möjligt att göra prognoser över flera år för att studera en möjlig utveckling för en kommuns stationära energisystem.

Från resultaten av simuleringarna i LEAP av Uppsala kommun och Uppsala klimatprotokoll går det att dra slutsatsen att det som mest påverkar de framtida utsläppen av växthusgaser är bränslemixen för el och fjärrvärme. I både referens- och aktörsscenario stod el för 43% och fjärrvärme för 47% av slutanvändningen av energi i Uppsala 2020. För 2030 var motsvarande siffra 44% för el och 47% för fjärrvärme. Både aktörs- och referensscenario visade nästan samma resultat för fördelningen av energislag (skillnaden var som mest 0,1%) då de åtgärder som valdes ut till aktörsscenario hade liten effekt på den totala slutanvändningen av energi. För utsläpp av växthusgaser skiljer det dock stort mellan aktörs- och referensscenario. Resultaten för utsläpp från det stationära energisystemet under basåret var 2,7 ton CO₂-e per invånare. För referens- och aktörsscenario 2020 var utsläppen 2,4 respektive 1,7 ton CO₂-e per invånare. Av total klimatpåverkan i referensscenario stod el 2020 för 67% och fjärrvärme för 26% medan el i aktörsscenario 2020 stod för 36% och fjärrvärme för 55%. 2030 var motsvarande värden i referensscenario 27% för el och 71% för fjärrvärme medan el i aktörsscenario stod för 60% och fjärrvärme för 35%.

6 Referenser

BFS 2011:26. *Boverkets byggregler*. Karlskrona: Boverket.

Bionär (2012). *Anläggningar*.

http://www.bionar.se/?ort=&meny=privat&src=include/privat/anl_.htm.

EG Science (2008). *The 2°C target. Information Reference Document. Background on Impacts, Emission Pathway, Mitigation Options and Costs*.

http://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/future/docs/brochure_2c_en.pdf.

Energimyndigheten (2006). *Energihushållning och energitillförsel i samverkan – Syntes av energianalyser inom programmet Uthållig kommun* (ER 2006:15).

Eskilstuna: Energimyndigheten.

Energimyndigheten (2009a). *Energistatistik för flerbostadshus* (ES 2009:08) .

Eskilstuna: Energimyndigheten.

Energimyndigheten (2009b). *Energistatistik för småhus 2007* (ES 2009:01).

Eskilstuna: Energimyndigheten.

Energimyndigheten (2011a). *Långsiktsprognos 2010* (ER 2011:03). Eskilstuna:

Energimyndigheten.

Energimyndigheten (2011b). *Energistatistik för småhus, flerbostadshus och lokaler 2010* (ES 2011:11) . Eskilstuna: Energimyndigheten.

Energimyndigheten (2011c). *Energistatistik för småhus 2010* (ES 2011:10).

Eskilstuna: Energimyndigheten.

Energimyndigheten (2011d). *Energistatistik för lokaler 2010* (ER 2011:08).

Eskilstuna: Energimyndigheten.

Energimyndigheten (2011e). *Energistatistik för lokaler 2009* (ES 2011:03). Eskilstuna: Energimyndigheten.

ERA (2006). *Energi & IT – Marknadsöversikt 2004/2005* [Katalog].

Eriksson, O. (2004). *Analys av ett lokalt energisystem och dess miljöpåverkan – Nulägesbeskrivning av Finspångs energisystem*. Examensarbete, Tekniska Högskolan, Linköpings Universitet. Linköping: Univ.

European Environmental Agency (2012). *Environmental Terminology and Discovery Service (ETDS)*.

Europeiska Kommissionen (2010). *How to develop a Sustainable Energy Action Plan (SEAP) – Guidebook*. Luxemburg: Europeiska Unionen.

Fahlberg K., Johansson S., & Brandt N (2007). *Referensscenario för utsläpp av växthusgaser i Stockholms stad fram till 2015* (TRITA - IM 2007:28). Stockholm: KTH.

Heaps, C. (2008). *Energy Planning and Policy Analysis* [Faktablad]. Somerville, USA: Stockholm Environment Institute.

IFE och Profu (2009). *Ream Regional Energy Analysing Model, guidelines to energy planning and User Manual for Ream* [Användarmanual].

IPCC (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A]. Genève, Schweiz: IPCC.

Klimatkommunerna (2011). *Lathund för inventering*.
<http://klimatkommunerna.unicms.se/?page=page4912ada79a1c2>.

Miljödepartementet (2009). *EU:s klimatarbete*. <http://regeringen.se/sb/d/8857>

Miljödepartementet (2012). *En sammanhållen klimat- och energipolitik – Klimat (Regeringens proposition 2008/09:162)*. Stockholm: Regeringskansliet.

Miljödepartementet (2012). *Miljöminister Lena Ek på ministerrådsmöte i Bryssel* [Pressmeddelande 2012-08-12]. <http://www.regeringen.se/sb/d/16008/a/187889>.

Naturvårdsverket (2009). *Appendix 20 Thermal values and Emission factors energy UNFCCC GWP conversion factors*.
<http://www.naturvardsverket.se/upload/stod-i-miljoarbetet/vagledning/forbranning/Appendix%2020%20Thermal%20values%20and%20Emission%20factors%20energy%20UNFCCC.pdf>.

- Naturvårdsverket (2011). *Att ta fram statistik och säkerställa kvalitet*.
<http://www.naturvardsverket.se/Start/Statistik/Officiell-statistik/Att-ta-fram-statistik-och-sakerstalla-kvalitet/>.
- Naturvårdsverket (2012). *Begränsad klimatpåverkan*.
<http://www.miljomal.se/Miljomalen/1-Begransad-klimatpaverkan/>.
- Profu (2000). *Martes - Simuleringsprogrammet för strategisk analys av fjärrvärmeproduktion* [Faktablad]. Mölndal: Profu.
- SCB (2008). *Fastpak 2008, Uppsala kommun* [Statistikprodukt].
- SCB (2010). *Regionala oljeleveranser 2009* [Statistikprodukt].
- SCB (2011). *Bränsle inom industrin 2009* [Statistikprodukt].
- SCB (2012). *Kommunal och regional energistatistik*. <http://www.scb.se/EN0203>.
- Seebregts, J., Goldstein, G. och Smekens, K. (2001). *Energy/Environmental Modeling with the MARKAL Family of Models* [Artikel].
<http://ftp.ecn.nl/pub/www/library/report/2001/rx01039.pdf>.
- SFS 2005:626. *Förordning om klimtrapportering*. Stockholm: Miljödepartementet.
- SMHI (2010). *SMHI Graddagar*.
http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.3482!Faktablad%20SMHI%20Graddagar%20100909.pdf.
- Sveby (2009). *Brukarindata för energiberäkningar i bostäder*.
http://www.sveby.org/wp-content/uploads/2011/06/brukarindata_bostader.pdf.
- Svensk energi (2011). *Vägledning angående ursprungsmärkning av el*.
<http://www.svenskenergi.se/Global/Dokument/%C3%96verenskommelser%20och%20avtal/Vagledning-2011-angaende-ursprungsmarkning-av-el.pdf>.
- Sveriges Kommuner och Landsting (2007). *Miljöindikatorer - Ett stöd i miljöarbetet* (isbn 978-91-7164-210-3). Stockholm: Sveriges Kommuner och Landsting.
- Totalförsvarets forskningsinstitut (2003). *Ekonomi, energi och miljö – metoder att analysera samband* (Fms-rapport 185). Stockholm: Totalförsvarets Forskningsinstitut.

Uppsala kommun (2009). *Strukturrapport Uppsala* [Underlagsrapport till översiktsplan 2010].

http://www.uppsala.se/Upload/Dokumentarkiv/Extern/Dokument/Bostad_o_byggnade/Oversiktsplan/Underlagsrapporter/strukturrapport_Uppsala.pdf.

Uppsala kommun (2010a). *Uppsala klimatprotokoll*.

<http://www.uppsala.se/sv/Boendemiljotrafik/Miljo--halsa/Miljo-klimat-och-hallbar-utveckling/Klimatprotokollet/>.

Uppsala kommun (2010b). *Uppsala klimatprotokoll - Rundabordsmöte 2010-12-14* [Mötesprotokoll].

Uppsala kommun (2012a). *Uppsalas klimatpåverkan*.

<http://www.uppsala.se/sv/Boendemiljotrafik/Miljo--halsa/Miljo-klimat-och-hallbar-utveckling/Uppsalas-klimatpaverkan/>.

Uppsala kommun (2012b). *Gemensamma planeringsföresättningar - Befolkningsramar för Uppsala kommun*.

<http://www.uppsala.se/pages/12558/Gpf2012%20.pdf>.

Uppsala kommun (2012c). *Områdesstatistik - Stad, landsbygd och tätorter*.

<http://www.uppsala.se/sv/Kommunpolitik/Kommunfakta/Statistik/Omradesfakta-stad--landsbygd/>.

Uppsala Kommun (2013). *Syfte med klimatprotokollet*.

<http://www.uppsala.se/pages/87751/klimatprotokoll-folder-2013-webb.pdf>.

Vattenfall Värme Uppsala (2009). *Säkerhet, hälsa och miljö 2009 - Redovisning av verksamheten 2008*.

Vattenfall Värme Uppsala (2010). *Säkerhet, hälsa och miljö 2009 - Redovisning av verksamheten 2009*.

Vattenfall Värme Uppsala (2011a). *Fjärrvärme i Uppsala – Enkel och bekväm uppvärmning*.

http://www.vattenfall.se/sv/file/Information_om_fj_rrv_rme_i_Uppsala.pdf_17215535.pdf.

Vattenfall Värme Uppsala (2011b). *Säkerhet, hälsa och miljö 2009 - Redovisning av verksamheten 2010*.

SLU
Institutionen för energi och teknik
Box 7032
750 07 UPPSALA
Tel. 018-67 10 00
pdf.fil: www.slu.se/energioghteknik

SLU
Department of Energy and Technology
P. O. Box 7032
SE-750 07 UPPSALA
SWEDEN
Phone +46 18 671000